This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

UC-NRLF
$B 78 993

Digitized by Google

REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Received October 1881.
Accessions No. 16171 Shelf No.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REVUE

DE

L'EXPOSITION DE 1867

MINES, MÉTALLURGIE
CHIMIE, MÉCANIQUE, NAVIGATION, CHEMINS DE FER
CONSTRUCTIONS, SCIENCES ET ARTS

APPLIQUÉS A L'INDUSTRIE

TOME QUATRIÈME.

PARIS

E. NOBLET, Directeur-Propriétaire,

11, RUE SAINT-DOMINIQUE-SAINT-GERMAIN.

1870

Tous droits réservés.

Digitized by Google

TN2
F61
v.1

Digitized by Google

CITY

REVUE

DE

L'EXPOSITION DE 1867

GÉNÉRATEURS A VAPEUR

PAR M. LOUIS FERARD,

Ingénieur honoraire des mines,
Ancien élève de l'école des mines de Liége,
Chargé des cours de physique expérimentale à l'Université de Liége, etc.

Les générateurs abondent à l'Exposition de 1867. Un certain nombre peuvent être considérés au point de vue de l'art du chaudronnier ; plusieurs au point de vue de leur service. Il en est qui ne figurent que sous forme de dessins ou de modèles réduits ; d'autres sont complétement installés, comme en pleine activité, et alimentent la force motrice du palais. Souvent ils représentent des inventions, sinon anciennes, au moins déjà connues et expérimentées par des praticiens de mérite : ces appareils sont alors principalement chargés par les exposants de soutenir devant le public l'honneur de leurs brevets. Enfin il en existe un très-grand nombre qui ne peuvent être mentionnés que sommairement ; observés sous un point de vue beaucoup plus général, ils représentent la division et la liberté du travail : ce sont d'une part les générateurs ambulants avec machines adhérentes (locomobiles) ; et d'autre part les générateurs fixes, mais portatifs, aussi avec machines adhérentes n'exigeant que peu ou point de frais d'installation, et disputant aux nouveaux

Digitized by Google

moteurs à gaz, à air chaud, etc., l'accès des petits ateliers.

Or il n'est guère facile d'apprécier un objet exposé : fût-on membre actif d'un jury, pour former un jugement équitable il est bon d'être secouru par la connaissance de faits hors concours ; de la part d'un simple visiteur à qui manquent le prestige et les droits d'un titre officiel, une appréciation *de visu* courrait grand risque d'être prématurée et taxée peut-être de partialité. Faut-il donc nous borner à constater l'existence au Champ de Mars de tels et tels objets? Faut-il ici refaire un catalogue, en s'efforçant de l'enrichir de quelques vignettes et de lui donner un peu plus d'étendue que n'en a le livret officiel? Renfermé dans ces limites, le travail ne serait sans doute pas dénué d'utilité ; mais j'ai cru devoir élargir un peu son cadre, pour le rendre utile non-seulement aux personnes qui cherchent dans ces revues à rafraîchir les souvenirs de leurs visites à l'Exposition universelle, mais aussi aux nombreux élèves de nos écoles spéciales et à nos jeunes confrères, à qui le temps manque pour se procurer des éléments d'appréciation épars dans de nombreux recueils.

J'ai donc vu, enregistré, décrit tout ce que j'ai pu atteindre, non sans quelque peine, non sans encourir quelques menaces pour ma liberté dans le colossal déballage du Champ de Mars ; j'ai recueilli sur place autant de renseignements que possible, me réservant de les contrôler : à cet effet, j'ai fouillé toutes les archives dans lesquelles les ingénieurs les plus distingués, les plus connus surtout pour leur habileté expérimentale, ont consigné les fruits de leurs vérifications. Ceci n'est donc en grande partie qu'un travail de compilation, dont le seul mérite sera d'avoir été laborieux et de faciliter les recherches des jeunes gens qui voudront acquérir une érudition technique sur l'importante question des générateurs à vapeur.

Digitized by Google

I

§ 1. De tous les appareils qui appellent l'attention du fabricant chaudronnier, un des plus remarquables est la chaudière de 15 chevaux *sans rivets*, exposée par MM. IMBERT et Cᵉ, de Saint-Chamond (Loire), (fig. 1 à 3), pl. I.

Elle est à foyer intérieur, avec chambre de combustion, et faisceau tubulaire suivi d'une boîte à fumée : sa longueur totale est de $4^m,320$, son diamètre de $0^m,946$. Le dôme, qui est lui-même d'une pièce entièrement forgée, est la seule partie rapportée sur le corps principal, à l'aide de rivets *aa'* (fig. 1) : il a $0^m,620$ de hauteur et $0^m,500$ de diamètre. Tout le reste, corps cylindrique, boîte à feu et à fumée, amorce de cheminée, forme un ensemble d'une venue, composé de feuilles de tôle assemblées par soudure, sans recouvrements, ni rivets.

Le tube-foyer a $0^m,590$ de diamètre ; sa longueur se décompose comme suit :

Longueur du foyer jusqu'à l'autel. . . .	$0^m,900$
Épaisseur de l'autel	0 120
Longueur de la chambre à combustion.	0 300
Longueur totale. . . .	$1^m,320$

Le bord antérieur du tube-foyer est recourbé de dedans au dehors ; le bord correspondant du corps cylindrique principal est recourbé du dehors en dedans : ces deux bords ont été ensuite soudés à une plaque de réunion suivant les deux circonférences ponctuées de la figure 2.

Sur le corps cylindrique il est très-difficile d'apercevoir les soudures ; on ne trouve qu'à grand'peine les lignes longitudinales.

Le fond du tube-foyer porte le faisceau tubulaire, composé de vingt-deux tubes de $2^m,600$ de long, disposés en cinq rangées (fig. 3); la boîte à fumée, dans laquelle aboutissent

Digitized by Google

ces tubes, a $0^m,400$ de longueur, et supporte la cheminée, dont l'amorce existe sur l'appareil exposé.

L'air arrive à la grille par le cendrier. Une partie plus ou moins grande de cet air peut être dérivée vers la chambre à combustion par-dessous l'autel : un registre à charnière R, adapté à l'entrée, permet d'en régler la quantité suivant l'allure et les besoins de la combustion. Le foyer est donc fumivore à la volonté du chauffeur. Cette disposition est une des meilleures, sinon la meilleure de toutes : elle est adoptée aujourd'hui par les constructeurs les plus entendus, dans les appareils à un seul foyer, à l'exemple des célèbres chaudières tubulaires à double foyer de FAIRBAIRN.

La maison Imbert et Cᵉ a encore exposé d'autres pièces forgées assez intéressantes sous le rapport des difficultés de soudure. Ce qu'il importe, c'est de savoir si ces difficultés sont industriellement vaincues, c'est-à-dire si le produit réalise l'union de la plus grande utilité avec la moindre dépense.

Quant à la question d'utilité, la réponse ne paraît point douteuse.

Les joints à recouvrements rivés constituent dans la chaudière un poids mort notable. Ils sont un obstacle à la forme parfaitement cylindrique, qui seule permet une répartition régulière de la résistance : en effet, un tube de chaudière n'est qu'un assemblage de tronçons coniques emboîtés successivement de façon à ce qu'aucun rebord ne regarde le feu.

Les joints rompent l'homogénéité de la paroi : de là une conductibilité variable, des mouvements moléculaires discordants (dilatations ou contractions), et des dislocations lentes ou brusques, presque toujours dangereuses, surtout si elles arrivent en des endroits inaccessibles à la vue, masqués par les maçonneries ou autrement.

Enfin on sait, par des exemples malheureusement assez nombreux, que les joints, même les mieux soignés sous le rapport du matage, peuvent occasionner bien des ennuis dès la mise en train de chaudières, bien que celles-ci aient été dûment éprouvées à l'eau froide : il suffit pour cela d'un défaut inaperçu dans la tôle ou dans le clou.

Digitized by Google

Le spécimen dont nous parlons est évidemment à l'abri de tous ces inconvénients : pour autant que les soudures soient toutes réussies — et nous devons les croire irréprochables, — il réunit à la légèreté l'uniformité et l'homogénéité.

Mais il reste à répondre à l'inévitable question : *How much ?* (Combien ?)

La comparaison des procédés est ici nécessaire.

Dans la fabrication courante de la chaudronnerie, les tôles, mises à dimensions convenables, sont cintrées pour former la paroi cylindrique : la rapidité de cette main-d'œuvre dépend de l'habileté de l'ouvrier, car, nous l'avons déjà fait remarquer plus haut, la courbure de la paroi n'est pas constante ; par conséquent, la position des cylindres à cintrer doit être réglée avec beaucoup de soin.

Rien de semblable dans le système Imbert : la courbure, une fois déterminée, reste constante pour chaque corps ou tube de chaudière.

Le forage des trous exige aussi une main-d'œuvre soignée : il est d'ailleurs précédé d'un tracé qui ne s'effectue vite et bien que par des mains et des yeux très-exercés.

Voilà encore deux opérations supprimées dans le système Imbert et Ce.

Un montage provisoire a lieu pour assurer la correspondance des trous de rivets, pour ajuster les joints, corriger les erreurs le cas échéant, etc.

Y a-t-il une préparation analogue dans le procédé Imbert ? Nous voici réduit aux conjectures, n'ayant pas eu la chance, pendant trois semaines d'assiduité au palais du Champ de Mars, de rencontrer personne qui pût nous donner le moindre renseignement sur cette remarquable chaudière.

Les compartiments sidérurgiques de l'Exposition ne manquent certainement pas de feuilles de fer laminé, d'une grandeur qui permettrait de croire que la paroi cylindrique de l'appareil Imbert est formée d'une ou de deux pièces de $4^{m},300$ de longueur, en comprenant les amorces ; il y aurait donc, après le cintrage, une ou deux soudures, suivant une ou deux génératrices du cylindre : on parvient en effet à voir, avec

Digitized by Google

grand'peine, deux lignes de soudures longitudinales. Cela suppose d'abord un laminoir à cintrer d'une longueur inusitée, et qui renfermerait dans des limites assez restreintes les dimensions des générateurs accessibles à ce genre de fabrication. Cela suppose ensuite un outillage spécial pour soulever les fragments cylindriques, les pincer, les soutenir au martelage, etc., en admettant, ce qui est peu probable, que le chauffage ait lieu à la forge maréchale ordinaire ?... Mais avons-nous le droit de croire que dans le cintrage on n'ait pas égard à la direction des fibres de la tôle ? C'est cependant par le mode que nous venons de décrire que le travail est, non pas le meilleur, mais le moins difficile, tout en conservant encore un cortége très-imposant de complications pratiques.

D'un autre côté, avec un laminoir ordinaire, on a pu former des tronçons cylindriques d'une ou de plusieurs tôles soudées ensemble dans le sens rectiligne, sur une longueur d'un mètre par exemple, et même davantage. Jusque-là l'opération n'offre pas de difficulté que ne puisse surmonter un ouvrier habile ; toutes les bonnes chaudronneries sont depuis longtemps en état de fournir des dômes soudés d'une seule pièce, travail dont le mérite est bien plus grand que celui de former de simples tronçons.

Ensuite les tronçons réunis peuvent avoir été soudés dans le sens circulaire ; ainsi pas de limite ni au diamètre, ni à la longueur de la chaudière ; pas d'obstacle non plus à ce que les fibres soient dirigées dans le sens le plus convenable à la résistance. Mais peut-on admettre alors la possibilité de chauffer les amorces de soudure au feu de forge ordinaire ? Comment s'imaginer qu'un tronçon de chaudière d'un mètre de diamètre et de 2 ou 3 mètres de long, ou davantage, puisse être convenablement placé devant la tuyère, puis manœuvré assez rapidement pour que la chaude suante soit conservée jusqu'au moment où le forgeron pourra effectuer son martelage avec la précision voulue, en regard de la pièce rapportée d'un autre feu ?

N'est-il pas préférable de supposer que M. Imbert, au

Digitized by Google

courant des progrès de la science physico-chimique, comme doit l'être tout ingénieur-mécanicien, aura mis à profit ces progrès pour faciliter la solution du problème qu'il a si vaillamment attaqué? N'a-t-il pas trouvé le moyen de chauffer ses amorces de soudure, sur place, en regard l'une de l'autre, de manière à marteler à mesure que la chaude suante s'effectue, et cela au moyen de deux jets de chalumeau à hydrogène et oxygène, ou à hydrogène carboné et air atmosphérique, dirigés sur les bords d'assemblage préalablement infléchis l'un en dedans, l'autre en dehors?

De cette façon la nécessité de remuer des pièces encombrantes serait écartée; il suffit de les fixer tout d'abord avec une certaine précision, et d'avoir les moyens de les soutenir par des appuis convenablement disposés : problème beaucoup moins ardu que celui des grands mouvements, pour le but qu'on se propose. Le travail ramené, conjecturalement, nous l'avouons, à ces proportions, paraît moins merveilleux qu'à la première vue : toutefois ne nous abandonnons pas aux illusions. Pour apprécier le mérite réel de cette fabrication, il faudrait en connaître les détails, plus nombreux peut-être que ceux qu'il nous est seulement permis d'entrevoir; il faudrait l'avoir essayée, et menée à bonne fin pour savoir exactement si les études, les tâtonnements, les dépenses d'argent, de temps, etc., sont suffisamment compensés par la valeur des produits.

En définitive, tous ces premiers sacrifices étant amortis par le succès supposé complet, les avantages du système semblent assez sérieux pour mériter l'attention des praticiens. Peut-être l'excédant de son prix de revient sur celui de l'assemblage à rivets est-il, sinon tout à fait nul, au moins assez peu considérable pour être compensé chez les industriels par le bannissement des défauts attachés aux joints rivés, par la régularité de la forme et de la résistance, par la meilleure répartition de la matière et la réduction du poids. Il paraît y avoir là autre chose qu'un tour de force, une ouverture à un nouveau mode de fabrication, à un progrès digne d'être étudié par nos fabricants : quelques essais,

Digitized by Google

quelques sacrifices se transformeraient un jour peut-être en beaux profits pour eux-mêmes et pour les consommateurs (1)?

§ 2. M. J.-F. Durenne, de Courbevoie (Seine), a exposé également une pièce de fabrication remarquable : c'est une boîte à feu de chaudière verticale à trois bouilleurs transversaux *a*, *b*, *c* (fig. 4); elle est formée de cinq feuilles de tôle soudées entre elles au marteau. L'exiguïté du diamètre des bouilleurs est un obstacle à la réussite de cette opération, qui cependant ne dépasse pas en difficulté la chaudière *complète* de M. Imbert. Il faut toutefois reconnaître que le foyer de M. Durenne est, en fait de pièce de forge, un des spécimens les plus beaux, les plus parfaits de l'Exposition; les autres articles exposés par cet industriel témoignent d'une fabrication scrupuleusement soignée.

D'ailleurs ce n'est pas sans raison que M. Durenne fabrique les boîtes à feu sans rivures. Ces organes sont les plus exposés aux grandes et brusques variations de température; il est désirable que les mouvements moléculaires qui y correspondent soient aussi réguliers que possible. L'homogénéité du métal, l'uniformité de son épaisseur sont des qua-

(1) J'ai entendu prétendre que la chaudière de M. Imbert était, en réalité, rivée par des clous à têtes noyées, et les joints raccordés au marteau. J'ai appelé à mon secours, pour vérifier le fait, les yeux les plus fins de plusieurs personnes parfaitement en état de s'intéresser à la question. Un ingénieur très-expert s'est même servi de la loupe, et n'a trouvé, après bien des recherches, que les lignes de soudure longitudinales sur la face cylindrique; quant aux soudures des fonds, elles sont assez visibles, comme elles sont représentées (fig. 2).

Un de mes amis, en quête d'une chaudière de 15 à 20 chevaux, a bien voulu, à ma sollicitation, s'adresser à MM. Imbert et Cᵉ, et leur demander leur prix pour un appareil sans soudure. La réponse nous a prouvé que le spécimen exposé n'était pas un article marchand, mais un objet destiné à l'Exposition. Néanmoins ce qui n'est qu'une fantaisie aujourd'hui peut devenir dans quelque temps une idée très-pratique. MM. Imbert et Cᵉ fabriquent constamment d'une seule pièce soudée les tubes-foyers de leurs chaudières tubulaires; mais réduite à ces proportions, la main-d'œuvre est loin d'être aussi difficile. Sous ce rapport, le spécimen de M. Durenne, § 2, est bien supérieur.

Digitized by Google

lités presque indispensables pour donner à l'appareil une durée convenable.

§ 3. Comme objet accessoire, on peut citer en passant une pièce d'acier (fig. 5), forgée en marteau pilon, à l'usage de la chaudronnerie, qui se trouve dans l'exposition de MM. Petin et Gaudet. La forme de cette pièce dispense de tout commentaire, et cette maison n'a que faire de compliments.

§ 4. Sous le rapport de la fabrication même, la France semble être le seul pays qui ait exhibé du nouveau, et où l'on trouve une tendance au progrès. Dans la manière courante, tous les fabricants ont à l'envi paré leurs travaux pour figurer de leur mieux au grand concours : au nombre des produits les mieux appareillés, on peut sans hésitation indiquer les deux générateurs Fairbairn, exécutés par M. Petry-Chaudoir, de Liége, d'après les plans de MM. Houget et Teston, entrepreneurs de la force motrice du secteur belge.

Sur un plan plus modeste, mais non moins utile, il est juste de signaler aussi la cheminée rivée à têtes perdues de la locomobile rurale, exposée par MM. Deneffe et Ce, de Liége ; cette cheminée sort également de la chaudronnerie Pétry-Chaudoir.

§ 5. Pour permettre aux conduites de vapeur ou d'eau chaude de se dilater et de se contracter librement sans se briser, on interpose dans le cours de ces conduites des courbes de laiton, ou des boîtes à glissement, qui se raccourcissent ou s'allongent comme les tubes des lunettes d'approche. M. Galloway, de Manchester, a remplacé ce genre de raccordement par des boîtes lenticulaires en tôle mince (fig. 6) faciles à fabriquer dans les petites forges ordinaires de serrurier ou de poêlier. Ces lentilles de dilatation m'ont paru un détail assez intéressant pour être mentionné : moins coûteuses que les courbes de cuivre, et que les boîtes à glissement, elles n'ont besoin d'aucun entretien ; c'est la simplicité réunie au bon service. Elles sont appliquées au raccordement des trois chaudières exposées dans le parc, par M. Galloway, et sur lesquelles je m'arrêterai plus loin.

Digitized by Google

§ 6. Mais voici un autre détail d'une grande importance : c'est l'ajustement des tubes de laiton ou de fer des chaudières tubulaires, qui permet de rendre chacun d'eux amovible. Il existe deux systèmes, celui de M. Berendorff, mécanicien à Paris, et celui de M. Langlois, maître principal des constructions navales, chargé de l'atelier des chaudières, à l'arsenal de Cherbourg (1).

Voici en quoi consiste le système Berendorff : les deux extrémités de chaque tube sont renflées et façonnées en troncs cônes, dont l'un est un peu plus aigu que l'autre, comme on le voit (fig. 7); les trous en regard dans les deux plaques tubulaires sont inégalement alésés. L'un, légèrement conique, est un peu moins grand que son correspondant. L'emmanchement de chaque tube se fait au moyen d'une tringle de fer L, taraudée aux deux extrémités comme de grands boulons de fondations; chaque extrémité porte deux rondelles, M et M′ de formes différentes (fig. 7), et deux écrous *m* et *m′*, destinés à faire marcher l'une vers l'autre les rondelles M et M′. L'une de celles-ci M s'appuie sur le bord du plus gros bout du tube, l'autre M′ porte sur la plaque tubulaire dans laquelle est pratiqué le plus petit alésage.

Lorsque le tube est présenté dans les ouvertures des plaques, on y introduit la tringle, puis les rondelles à leur place respective, enfin les écrous *m* et *m′*; à l'aide de ce dernier, on fait avancer le tube, dont les renflements soigneusement tournés viennent s'ajuster, se serrer dans les trous alésés. On recommande, en même temps que le serrage a lieu, de frapper quelques coups sur l'écrou *m* pour faciliter l'opération. Il nous paraît aussi recommandable de proportionner les épaulements ou rebords des parties renflées *aa* et *a′a′* de manière à ce que la presion de la vapeur transmise par l'eau favorise le serrage; c'est-à-dire que le rebord *aa* doit être un peu plus grand que le rebord op-

(1) Représenté par M. l'ingénieur G. Sonolet, de Cherbourg à l'obligeance de qui je dois les renseignements les plus complets sur cette précieuse invention.

Digitized by Google

posé *a'a'*, sans excéder le diamètre de l'ouverture MM, puisqu'il doit franchir cette ouverture.

Pour retirer les tubes, l'inverse doit être fait, c'est-à-dire que la rondelle M' et l'écrou *m'* doivent changer de position avec M et *m*.

La belle grande chaudière exposée dans le palais par MM. Cail et Cᵉ est munie d'un faisceau entièrement ajusté de cette façon, ainsi que la chaudière mixte, à bouilleurs et à faisceau intérieur de M. Durenne.

M. Berendorff peut appliquer son système à toutes les chaudières, quelle qu'en soit la forme ; il évite l'inconvénient de l'étranglement des orifices des tubes par les viroles intérieures. Le système est simple, peu coûteux, et à la portée de l'ouvrier le plus ordinaire ; il a déjà la vogue, à en juger par les nombreuses applications indiquées au prospectus, et dont la majeure partie figure à l'Exposition.

Le système des tubes mobiles Langlois paraît un peu moins simple et plus coûteux que le précédent ; en revanche il offre peut-être une plus grande sécurité en marche, ce qui n'est certes pas à dédaigner dans tous les cas où la chaudière est exposée à des chocs, comme sur les chemins de fer et dans le service maritime.

Le tube (fig. 8), de laiton ou de fer, est renforcé d'un côté par un bourrelet de bronze AA, brasé avec lui ; il est assemblé avec la plaque de boîte à fumée au moyen d'un pas de vis à filet rond, creusé dans le bourrelet. Du côté de la boîte à feu, une bague d'acier ou de fer B serre le tube contre la plaque tubulaire.

Pour mettre en place les tubes mobiles Langlois, on interpose entre la plaque de boîte à fumée et la bride restée au bourrelet A, une petite rondelle ou joint de plomb *aa*. Ce joint s'incruste par la pression dans deux petites rainures ménagées en regard l'une de l'autre, d'un côté dans la bride, de l'autre dans la plaque tubulaire : il est parfaitement étanche.

Le serrage et le desserrage se font au moyen d'une clef à dents C qui s'introduisent dans les échancrures correspon-

Digitized by Google

dantes C′ de la bride (fig. 8, 9 et 9 bis). La bague d'acier se place et se déplace aussi au moyen d'outils spéciaux, le chasse-bague (fig. 10), et l'arrache-bague (fig. 11 et 11 bis). Au montage, avant d'introduire cette bague, on serre le tube contre la paroi du trou cylindrique de la plaque de fond, au moyen d'un mandrin à quatre segments centrés sur une tige d'acier façonnée en pyramide quadrangulaire (fig. 12).

Afin d'éviter l'oxydation du filet, on l'enduit d'une pâte ou mastic faite de suif et de poussière très-fine de zinc : après quelques heures de chauffe, le suif est disparu, mais la poussière de zinc reste et protége le bronze (1). Pour compléter le système et pouvoir l'appliquer à toute chaudière existante, M. Langlois a imaginé un outil portatif servant à aléser et fileter sur place les trous des plaques tubulaires.

L'addition d'un bourrelet assez épais augmente dans une assez forte proportion le diamètre extérieur du tube et du trou de la plaque : celle-ci se trouve considérablement déforcée. Aussi plusieurs ingénieurs de la marine ont-ils cru devoir outrepasser les pressions d'épreuves réglementaires des chaudières munies des tubes mobiles Langlois; les joints ont toujours parfaitement résisté, et aucune déformation n'a été constatée aux plaques de fond.

A bord de l'aviso de 120 chevaux, *le Faon*, cent soixante-douze tubes ont pu être démontés et remontés en vingt-quatre heures; on compte environ cinq minutes pour le démontage et le remontage d'un tube. On conçoit que l'habitude et l'entente de deux hommes fonctionnant chacun à une extrémité doivent accélérer beaucoup la besogne. Quatre jours, sans se presser, ont suffi pour laisser refroidir,

---

(1) Cette précaution paraîtra peut-être superflue aux personnes qui savent combien les écrous de cuivre, placés sur les boulons de fer dans les pistons à vapeur et à eau, sont faciles à défaire et à remettre, même après un long travail. Toutefois ce n'est pas une raison pour la repousser, surtout dans la pratique maritime, où a principalement fonctionné le système Langlois.

Digitized by Google

nettoyer la chaudière et ses 172 tubes, et la remettre en pression.

Après un service de quatorze mois sur le même bâtiment, pas une seule fuite ne s'est déclarée ni dans la boîte à feu, ni dans la boîte à fumée; les pas de vis sont parfaitement conservés, et tous les tubes après le nettoyage ont été remis en place exactement dans les mêmes conditions que lors de leur premier montage; d'ailleurs quelques-uns avaient déjà été démontés dans l'intervalle des quatorze mois, à diverses époques, pour visiter l'intérieur de la chaudière.

Quant à la solidité de cet assemblage, sur laquelle on pourrait avoir quelque crainte lorsque l'épaisseur des plaques se trouve diminuée par un long usage, on cite une locomobile de M. Calla, dont les plaques n'ont plus que 0m,010 d'épaisseur et sont garnies de tubes Langlois. Cette locomobile fonctionne journellement à cinq et six atmosphères, sans que la moindre déformation ni le moindre suintement se manifestent.

Voici, d'après la commission chargée de rendre compte de ce système, les avantages qu'il présente.

Possibilité de visiter et nettoyer très-facilement la chaudière et les tubes. Sur un petit bâtiment, le nettoyage comporte quarante-huit heures, y compris le temps nécessaire au refroidissement du générateur; sur un vaisseau portant plusieurs appareils que l'on peut isoler à volonté, le nettoyage se ferait aussi bien en marche.

La production de vapeur reste régulière, à cause de la propreté constamment entretenue des tubes; la consommation de charbon diminue donc.

Les réparations sont faciles et peu coûteuses; les accidents dus à l'incrustation des tubes sont moins à craindre, l'usure est moins rapide; on estime à un tiers l'augmentation de la durée moyenne des chaudières marines.

On a comparé le prix de revient des tubes mobiles à celui du système ordinaire, en prenant pour base une chaudière dont le faisceau comporte 88 tubes, et en admettant que l'entretien et les réparations équivalent au remplace-

Digitized by Google

ment total des tubes au bout de six années. Voici les résultats de cette comparaison :

Système ordinaire.

Deux jeux de 88 tubes de laiton. . . .	4 932 fr.	00	
Deux jeux de 176 bagues en acier. . .	140	00	
Première mise en place	29	45	
Deuxième mise en place.	45	55	
Total	5 147 fr.	00	
A déduire : valeur des résidus. . .	2 432	00	2715 fr. 00

Tubes mobiles.

Un jeu de 88 tubes	2 461 fr.	00	
Bourrelets.	200	00	
88 bagues.	35	00	
Soudure, plomb, zinc	26	00	
Fileter et aléser les plaques	24	50	
Fileter les tubes et les mettre en place.	34	50	
Entretien pendant six ans	120	00	
Total. . . .	2 901	00	
A déduire : valeur des résidus	1 361	00	1 540 00
Différence en faveur des tubes Langlois			1 175 fr. 00

A cette économie (1) on doit ajouter celle qui résulterait de l'augmentation de durée des chaudières, de la réduction de leur prix et de leur installation ; enfin celle beaucoup plus considérable réalisée sur le combustible. Sous ce dernier point de vue, si l'on s'en rapporte aux renseignements puisés dans les journaux de bord, on admet que pendant les trois premiers mois les chaudières tubulaires produisent à peu près la même quantité de vapeur qu'au début, que dans le trimestre suivant, la production est réduite à 80 pour 100 ; après un exercice d'une ou de deux années, elle est réduite à 75 et même 70 pour 100 de son état primitif, et la chaudière exige une réparation qui entraîne la perte d'une grande partie des tubes.

(1) Les droits d'invention ne sont évidemment pas compris dans ce compte.

Digitized by Google

Or si, comme on doit le croire, l'état des machines était tel qu'il n'exigeait pas une plus grande dépense de vapeur, on ne peut attribuer celle-ci qu'aux dépôts et aux incrustations. Un seul exemple suffira pour apprécier l'importance de la propreté des chaudières.

La corvette *Dupleix* de 400 chevaux fait une campagne durant laquelle on compte 3 347 heures de marche.

Pendant les 500 premières heures on a brûlé.	765 760 kilog. de charbon.
Et pendant les 2847 heures suivantes on a brûlé	4 935 912 —
En suivant la proportion des 500 premières heures, on n'aurait dû brûler que $\frac{765\,760 \times 2\,847}{500} =$ . .	4 360 237 —
Il y a donc une augmentation de. . .	575 675 kilog. de charbon.

Le nombre de tours d'hélice dans la première période s'est élevé à 1 478 020 ; la dépense a donc été de 51^{k},80 par cent tours ; dans la seconde période, le nombre de tours s'est trouvé de 7 671 700, la dépense par cent tours a donc été de 64^{k},33 ; soit une augmentation de 11^{k},53 par cent tours.

En résumé, la mobilité des tubes suivant l'un ou l'autre système, Berendorff ou Langlois, achève la chaudière tubulaire et lui assure définitivement dans la pratique le rang qui lui est depuis longtemps assigné par les considérations théoriques.

Pour terminer ce sujet, je mettrai sous les yeux des lecteurs les prix de la fourniture des bourrelets de bronze, des bagues d'acier ou de fer, des rondelles de plomb, du mastic de zinc, etc., ainsi que le filetage, l'alésage, et toute la main-d'œuvre du placement des tubes Langlois.

Pour un tube de 0^{m},040 de diamètre extérieur, 11 francs ; à partir de ce prix, une augmentation de 1 fr. 50 correspond à une augmentation de 0^{m},005 sur le diamètre ; ainsi, pour un tube de 0^{m},070, on arrive à 20 francs. A partir du dia-

Digitized by Google

mètre extérieur de 0m,100, l'augmentation de 1 fr. 50 correspond à 0m,010 d'accroissement; de sorte que pour 0m,120, qui est la limite, on arrive à 32 francs. Je regrette de n'avoir pas à mettre en regard de ce tarif, celui de M. Berendorff. Nul doute qu'il ne soit beaucoup moins élevé; mais il est à craindre que l'économie ne suffise pas dans certaines applications pour le rendre préférable. En effet, il paraît que l'ajustement Berendorff cède quelquefois dès l'épreuve. Toutefois, comme cet accident n'arrive qu'à un nombre très-restreint de tubes parmi un grand nombre, peut-être ne doit-il être attribué qu'à un défaut de façon ou à quelque négligence de montage. On évite d'ailleurs toute défectuosité au moyen d'une contre-plaque tubulaire vissée du côté de la sortie.

§ 7. Le fléau de l'incrustation des chaudières a déja perdu beaucoup de son importance lorsque toutes les parties des parois sont rendues accessibles à l'œil du chef et à la main de l'ouvrier. Cependant le travail de l'extirpation est la plupart du temps encore assez pénible; le battage au marteau et au burin altère le métal, l'amincit et finit par compromettre sa résistance. Aussi est-il infiniment désirable de voir les substances contenues dans les eaux d'alimentation se déposer simplement sous forme de boue inconsistante que l'on puisse expulser par le balai ou par des chasses d'eau plus ou moins énergiques.

Plusieurs procédés, peu nouveaux du reste, sont brevetés et exposés au Champ de Mars, dans le but d'empêcher la cristallisation des sels calcaires et leur adhérence aux parois. Les uns sont chimiques, les autres mécaniques ou physiques. Ceux-ci ont pour principe d'entretenir les matières dans un état d'agitation qui trouble l'action moléculaire et en empêche la solidification. M. Gargan, au moyen d'une cloison mobile demi-circulaire, divisée en compartiments, noyée dans la chambre d'eau et excentrée par rapport à l'axe de la chaudière, établit une rotation continue de l'eau autour de cet axe. La section des couloirs de circulation est décroissante en sorte que la vitesse de transport va en augmentant, et

Digitized by Google

produit à la fin un remous qui étale sur le fond mobile les matières entraînées par l'eau. L'alimentation doit avoir lieu vers la partie la plus large du couloir. M. Gargan cite un très-grand nombre d'applications réussies de son appareil, entre autres à 30 chaudières de la Compagnie du gaz de Paris.

§ 8. M. Backer cherche à empêcher l'incrustation en neutralisant l'électricité dont la vapeur est chargée au moment de sa sortie, par une communication métallique avec le fond ; la commotion moléculaire de la paroi, cette vibration insensible dans la matière inorganique, et si sensible dans nos membres, suffit à empêcher l'agrégation des dépôts. L'appareil est simple : il se compose d'un cercle de cuivre, même de fonte avec un manche par lequel il se relie au fil de cuivre, qui communique avec la paroi du fond ; ce cercle hérissé de pointes est placé en regard de la prise de vapeur, dans l'endroit où celle-ci est le mieux déchargée de l'eau, c'est-à-dire dans le haut du dôme.

Le prix d'un appareil anti-incrustateur Backer paraît encore assez élevé : 200 francs pour une chaudière de 10 chevaux, avec augmentation de 20 francs par accroissement de 5 chevaux, jusqu'à 50 chevaux. De 50 à 100, le prix augmente de 40 francs de 10 en 10 chevaux ou fraction de 10 chevaux, de sorte que pour 200 chevaux on arrive à 560 francs. Enfin chaque dizaine de chevaux, ou fraction de dizaine ajoutée à 100, augmente le prix de 25 francs. Le montage est des plus simples.

Plusieurs chemins de fer belges et beaucoup d'établissements importants ont adopté cet appareil ; les renseignements lui sont très-favorables jusqu'à présent, et nous n'éprouvons aucune difficulté à admettre son efficacité bien réelle, pour autant que les pointes métalliques ne s'altèrent pas. Or cette altération n'a pas toujours pu être évitée dans certaines localités. Avant de conseiller d'une manière générale l'application de l'anti-incrustateur électrique, nous devons attendre que l'expérience nous ait apporté sur son

Digitized by Google

compte des enseignements plus complets et plus précis (1).

§ 9. Avant les dispositifs Berendorff et Langlois, de vigoureuses tentatives avaient été faites par plusieurs ingénieurs et constructeurs distingués pour parvenir à rendre possible l'enlèvement des dépôts durs, des chaudières multitubulaires. Toutes les dispositions imaginées consistaient dans l'amovibilité des faisceaux entiers. Tels sont les systèmes de MM. Thomas et Laurens (Paris); de M. Chevalier (Lyon), et de MM. Farcot et fils (Saint-Ouen) : dans leurs générateurs, un appareil intérieur, nommé *vaporisateur*, comprend le foyer et les tubes, et peut s'extraire de la caisse à eau avec laquelle il n'est relié que par des brides à joints mastiqués et boulonnés. Cette séparation ne se fait pas toutefois sans un grand déploiement de forces et sans l'emploi de beaucoup de temps; en outre, il y a beaucoup à déduire de l'idée d'un nettoyage parfait. Les grands joints en mastic qu'il faut défaire et refaire laissent encore debout de sérieux inconvénients.

Le système de MM. Thomas et Laurens est connu depuis longtemps, car il a pénétré partout : s'il a des défauts sous certains points de vue, il réalise sous d'autres rapports d'excellentes qualités économiques, qu'il serait injuste de méconnaître; et d'ailleurs il serait peut-être encore plus injuste de ne pas tenir compte des efforts tentés pour résoudre plus ou moins l'important problème du nettoyage et de l'entretien des générateurs tubulaires. M. Chevalier et MM. Farcot et fils paraissent avoir trouvé une solution au moins aussi bonne que celle des deux savants ingénieurs de Paris; leurs appareils étant moins connus chez nous, en voici la description (2) :

§ 10. Les deux générateurs exposés au Champ de Mars

---

(1) L'Association des ingénieurs de Liége s'est occupée de l'appareil Backer; il ne paraît pas jusqu'à présent que l'étude expérimentale en soit terminée.

(2) Pour la chaudière Thomas et Laurens, voir *l'Économie du combustible* de M. Bède, 2e édit., Noblet.

Digitized by Google

par M. Chevalier font le service de la force motrice : l'un comporte un foyer intérieur *a*, une chambre de combustion *b*, le faisceau tubulaire *c* et la boîte à fumée *d*, plus deux tubes réchauffeurs *ee'* de 0m,600 de diamètre, profitant du retour des gaz au sortir de la boîte à fumée. Il est surmonté d'un long réservoir cylindrique *f* contenant toute la vapeur et une partie de l'eau (fig. 13) : la chambre d'eau ainsi que la chambre de vapeur sont considérables et les coups de feu peu à craindre (1).

Le vaporisateur, c'est-à-dire l'ensemble du foyer et des tubes, est amovible : il est soutenu par ses deux extrémités sur les fonds du corps principal à l'aide de deux joints, qui sont à défaire quand on veut démonter l'appareil pour débarrasser les tubes du dépôt incrustant. Cette chaudière, avec une longueur de 6 mètres et un diamètre de 1m,350 au corps principal, présente un développement de 67 mètres carrés de surface de chauffe.

§ 11. Le second générateur placé à côté du précédent sous le même hangar, est à deux foyers FF opposés, placés aux deux extrémités d'un seul tube AA (fig. 14) : une cloison en briques divise ce cylindre en deux compartiments. Le retour des flammes se fait dans un faisceau *tt*... de tuyaux de cuivre se raccordant par une courbe à angle droit avec le tube-foyer : cette courbure favorise les mouvements moléculaires (dilatation et contraction); quant à la difficulté du ramonage, elle est levée à l'aide d'une brosse à tête articulée. Ce double vaporisateur est amovible comme le précédent, en démontant aussi deux joints.

Deux réchauffeurs B de 0m,600 de diamètre, et un réservoir supérieur C contenant un peu d'eau et servant de chambre de vapeur, complètent cet appareil, que le constructeur destine plus spécialement à la navigation. La surface de chauffe totale est de 65 mètres carrés ; le corps principal a 5 mètres de long et 1m,40 de diamètre.

---

(1) Comme particularité de construction, il est à remarquer que M. Chevalier fait, dit-on, ses tubes-foyer en tôle d'acier fondu, et quelquefois les corps extérieurs en tôle d'acier Bessemer.

Digitized by Google

L'indépendance complète de ces deux foyers opposés, ayant chacun leur chambre de combustion, permet selon les résistances à vaincre, de développer à volonté une grande puissance de vaporisation, ou une très-petite, en se servant à la fois des deux foyers ou bien d'un seul. L'inventeur croit obtenir ainsi une économie de charbon lorsque le travail à fournir est faible : nous ne pouvons en juger de façon certaine, mais la difficulté de marcher à feu bas dans les foyers étroits nous porte assez vers cette opinion (1).

M. Chevalier a exécuté en laiton de petits modèles de ses deux chaudières, de sorte que les visiteurs de l'exposition peuvent démonter et examiner dans tous ses détails cette construction qui n'est pas dépourvue d'originalité, et qui témoigne d'études minutieuses de la part de l'auteur.

§ 12. La chaudière de M. Farcot diffère peu dans ses parties essentielles de la première chaudière de M. Chevalier (fig. 13) : les deux tubes bouilleurs sont supprimés. Elle se compose de deux parties (pl. XXII du numéro 1er) : la première est le corps principal, à l'intérieur duquel se trouve le vaporisateur, c'est-à-dire le foyer, la chambre à combustion et le faisceau tubulaire; la seconde, placée au-dessus de la première et communiquant avec elle par deux cuissards, est un réservoir cylindrique, rempli moitié d'eau et moitié de vapeur; il est muni d'un dôme.

Le foyer avec le faisceau tubulaire forment un ensemble amovible réuni au corps cylindrique par des joints boulonnés, et supporté en outre par des galets; le tout est renfermé dans une sorte d'armoire en tôle mince, doublée à l'intérieur d'un enduit imperméable à la chaleur; une grande porte à

---

(1) Cette disposition de deux foyers opposés a déjà été appliquée : elle est décrite dans les *Bulletins de la Société d'encouragement*, 1855, t. LIV, comme imaginée par un ingénieur de Manchester, M. Johnson. Seulement les deux foyers n'étaient pas indépendants et marchaient simultanément; la fumivosité, dit-on, était complète. Ce système, en se rapprochant du double foyer de Fairbairn avec chambre de combustion, est toutefois moins simple et moins commode à conduire.

Digitized by Google

deux battants à l'extrémité postérieure de cette enveloppe permet de démasquer tous les carneaux ainsi que les tubes pour les ramoner sans la moindre difficulté.

Ce système très-compacte n'est encastré dans aucune maçonnerie; il repose librement sur des dés de fonte et une fondation presque insignifiante, ou bien sur un train roulant. Deux chaudières de 40 chevaux chacune, placées à côté l'une de l'autre, alimentent trois belles machines à condensation faisant le service moteur du palais. La conservation de la chaleur paraît très-satisfaisante : MM. Farcot et fils ont adopté le même système pour une locomobile de 6 à 7 chevaux, exposée aussi au Champ de Mars.

§ 13. En résumé, l'extraction d'un vaporisateur demande toujours un temps et une force assez considérables, un personnel nombreux; de plus, quelque ingénieux que soient les outils pour enlever les croûtes calcareuses, il est notoire que l'opération n'est jamais parfaite, même pour les tubes de la périphérie du faisceau.

A la rigueur, un seul homme peut démonter les tubes-mobiles Langlois ou Berendorff, et les remonter après le nettoyage : toutes les mauvaises chances qui accompagnent les joints mastiqués sont évitées.

De sorte qu'aujourd'hui la rivalité entre les appareils de MM. Thomas et Laurens, de MM. Farcot et fils et de M. Chevalier, ne peut plus porter que sur la solidité, la durée et l'effet utile du combustible : les trois systèmes ont un égal intérêt à s'adjoindre comme auxiliaire l'un des deux ajustements de tubes qui viennent d'être rappelés.

§ 14. L'amovibilité du vaporisateur d'une seule pièce, celle même de tous les tubes séparément serait un perfectionnement illusoire si la place manquait à l'avant ou à l'arrière du générateur; ce défaut d'espace doit être bien rare, et bien funeste, puisqu'il empêcherait en même temps le ramonage des tubes, opération qui exige l'emploi d'un manche aussi long que la chaudière. Cependant on s'est ingénié à inventer des outils propres à gratter sur place les incrustations des tubes, en pénétrant dans tous leurs intervalles. La

Digitized by Google

chaîne-grattoir de M. Joublin est un de ces outils ingénieux, mais encombrants, d'une manœuvre lente, efficace cependant, au moins lorsque les tubes sont disposés en rangées verticales et non pas en quinconces. Dans ce dernier cas, dit-on, il faut réserver l'amovibilité de quelques tubes pour permettre l'introduction de la chaîne : cette déclaration tend la main aux systèmes des tubes-mobiles. Pourquoi ne pas adopter l'ajustement pour le faisceau complet? pourquoi se refuser les facilités les plus grandes, et cela sans économie ni de temps ni d'argent?

§ 15. Parmi les types nouveaux de chaudières, on a pu remarquer celui de M. de Carville aîné (Paris) : les parois des chaudières sont ondulées afin de leur conserver une grande résistance avec une vaste surface de chauffe et de larges passages à la circulation de l'eau.

Il est certain que la surface de chauffe est augmentée ; que les tirants qui relient les courbes rentrantes peuvent donner au système une grande rigidité : s'il est vrai en outre que chaque kilogramme de houille vaporise $8^k,5$ d'eau, alors que chaque mètre carré ne correspond qu'à une vaporisation de $7^k,6$ par heure, ce générateur doit être au moins cité comme sortant décidément des habitudes. Une chaudière Carville, pour la force de 40 chevaux, occupe $2^m,500$ de longueur, $1^m,400$ de largeur et $2^m,000$ de hauteur.

Les prix sont de 260 à 140 francs par cheval depuis 2 jusqu'à 25 chevaux, tels sont les uniques résultats de nos recherches sur cette nouvelle idée.

§ 16. M. l'ingénieur Thomas Holt (Trieste), expose aussi un système nouveau de chaudière, pour usages fixes, pour locomobiles, bateaux, etc. Les tubes cylindriques sont remplacés par des compartiments cloisonnés ou caisses plates; qu'on imagine chaque rangée horizontale ou verticale de tubes réunis en un seul carneau plat, à section rectangulaire, dont le petit côté est compris dans les limites des diamètres donnés aux tubes.

On comprend que par là la surface de chauffe est considérablement accrue, aux dépens du volume d'eau, ce qui per-

Digitized by Google

met une vaporisation plus active, une mise en train plus rapide : dans certains dispositifs, la chauffe est quadruplée, on en cite où elle est décuplée.

Dans quelques modèles publiés par M. Holt, les cloisons sont disposées verticalement, par exemple dans une chaudière marine (fig. 17), et dans une chaudière fixe verticale (fig. 18); dans d'autres ils sont un peu inclinés, afin de faciliter la circulation des globules de vapeur; mais dans un modèle pour locomotive, ils sont placés horizontalement : n'y a-t-il pas lieu de craindre, dans ce dernier cas, que la vaporisation interne ne mette à découvert la surface de chauffe de ces carneaux, et ne les compromette gravement? Peut-être nous trompons-nous; peut-être le dessin unique où se lit cette disposition dangereuse n'est-il pas un projet définitif.

Quant à la rigidité des parois de fond, on peut aisément la croire parfaite.

Dans notre pays, à Bruxelles, chez MM. Vangoethem, J. Reallier et C°, on construit une chaudière d'après les indications de M. Holt; l'expérience n'a encore rien dit chez nous sur sa puissance de vaporisation. Mais d'après un tableau dressé par les commissaires de la marine autrichienne la production de vapeur s'élève à 12 kilogrammes, et même 12 kilogrammes trois-quarts par kilogramme de combustible! Voilà un résultat hors ligne; mais on se demandera sans doute quel est le précieux charbon qui y a contribué, puisque le meilleur ne peut vaporiser *théoriquement que* 11^{k},5 d'eau? Ou bien la commission impériale n'aurait-elle pas omis quelque correction importante à faire à ses résultats, par exemple, celle qui concerne l'eau emportée par la vapeur ?

Quoi qu'il en soit, si nous déduisons de ce rendement trop magnifique les 30 pour 100 que l'on a l'habitude d'attribuer aux crachements, il reste encore un fort beau produit de 8 à 8 kilogrammes et demi de vapeur par kilogramme de combustible, suffisant pour engager à étudier de près le système de M. Holt.

§ 17. Parmi les meilleurs modèles de l'Exposition, tant

Digitized by Google

sous le rapport de l'exécution que sous celui de la disposition, figure une chaudière de 80 chevaux de M. Durenne (de Courbevoie).

Elle est à tubes bouilleurs ; le retour des gaz, au lieu de se faire sous le corps principal se fait dans celui-ci, à travers un certain nombre de tubes. Cette combinaison restreint un peu la chambre de vapeur ; le constructeur y a suppléé par un dôme très-haut. Au point de vue de la surface de chauffe et de la distribution de la chaleur, c'est une amélioration évidente qui rachète en partie le défaut des chaudières à bouilleurs ordinaires. Le nettoyage du faisceau tubulaire doit être ici très-peu important, puisque l'eau arrive dans le haut presque distillée, ayant abandonné la plus grande partie de ses impuretés dans les bouilleurs ; pourvu que ceux-ci aient un diamètre suffisant et que les vidanges soient assez fréquentes, on ne peut avoir à cet égard d'autres craintes que celles qui accompagnent ordinairement le système de générateur à bouilleurs. Dans celui de M. Durenne, la chaleur des gaz étant portée dans la masse même de l'eau, et dans le voisinage de la surface d'évaporation, doit nécessairement produire un plus grand effet que celle des gaz circulant simplement à l'extérieur de la masse liquide, sous l'appareil.

Ce système, appelé *mixte* par le constructeur, me paraît bien conçu et appelé à de bons résultats ; il mérite à coup sûr d'être expérimenté avec soin, et d'être comparé pour la puissance de vaporisation, avec la disposition ordinaire à bouilleurs ; et pour les conditions économiques de durée et d'entretien, avec les systèmes tubulaires à foyers intérieurs.

La chaudière exposée est d'une belle exécution. Une réduction placée à côté permet d'en voir tous les détails, ainsi que les tubes amovibles de M. Berendorf ; un appareil semblable, exposé par M. Lecherf, fonctionne dans le hangar du boulevard du Nord.

En terminant le premier chapitre de cette revue, je me permettrai une critique générale : les fabricants de chaudières abusent de la fonte pour les couvercles de dômes, les

Digitized by Google

bouts de tubes bouilleurs et même pour les couvercles de trous d'homme. L'augmentation de poids et la facilité de travail qui en résultent forment un profit pour eux ; mais tôt ou tard le consommateur en éprouve des ennuis, et il devrait repousser ce mariage de deux métaux inégalement élastiques comme la fonte et le fer. Généralement les trous d'homme sont placés aux sommets des dômes ; il serait bien plus utile de les placer sur le corps même de la chaudière. Parmi les nombreuses raisons en faveur de cette disposition, la principale est qu'elle seule permet la ventilation et l'assainissement de l'intérieur pendant que les hommes ou les jeunes gens exécutent le pénible travail du nettoyage.

II

§ 1. Parmi les chaudières complétement installées dans le parc pour alimenter la force motrice du palais, il en est plusieurs à foyers dits *fumivores*. A l'exception de celles de MM. Chevalier (Lyon), et Galloway (Manchester), de la chaudière dite *de sûreté* de M. Horward (Bedford) et celle de MM. Farcot et fils (Paris), ces générateurs ne présentent rien de bien particulier : presque toutes ont leurs foyers munis de barreaux épais, condition contraire à une bonne combustion, et cela, on peut l'affirmer, quelle que soient la nature et la grosseur du combustible.

En fait d'exception à cet errement, on peut citer la chaudière tubulaire mixte de M. Jules Lecherf, de Fives-Lille (Nord), du genre de celle de M. Durenne, à deux bouilleurs, retour intérieur par vingt-quatre tubes disposés sur deux rangées, et second retour extérieur sur les flancs du corps principal. M. Lecherf a employé des barreaux minces, et n'a pas cru devoir faire de réclame à l'endroit de la fumivorité, sans doute parce que son foyer bien proportionné et bien conduit, n'a pas besoin d'un secours artificiel pour obtenir une combustion complète et économique.

§ 2. Il en est de même de la belle et simple chaudière tu-

Digitized by Google

bulaire (fig. 19, 20, 21), de MM. MEUNIER et Cᵉ, de Saint-Maurice-lez-Lille (Nord), alimentant la machine à vapeur de MM. LE GAVRIAN et FILS. Quant à sa forme, elle ressemble beaucoup à celle de M. Imbert : elle en diffère cependant par quelques détails. Le corps principal a $7^m,250$ de long et $1^m,400$ de diamètre ; la profondeur totale de la boîte à feu est de $2^m,250$; sa circonférence est une portion d'ellipse de $1^m,200$ de diamètre horizontal et $0^m,950$ de diamètre vertical. Le foyer, en y comprenant la taque de devant, à $1^m,900$ de longueur et près d'un mètre de largeur : les parois inférieures du corps principal ainsi que la boîte à feu sont coupées sous la grille, de sorte que celle-ci est entièrement libre, c'est-à-dire que le cendrier n'est point limité et adhérent à la boîte à feu, mais vaste et formé entre les murailles qui supportent tout le système.

Derrière la grille est une chambre de combustion de $0^m,400$ de longueur recevant l'air du cendrier par le dessous, au moyen d'une porte régulatrice. Sept rangées elliptiques de tubes au nombre de soixante-quatorze, ayant un diamètre de $0^m,060$ et une longueur de $4^m,900$, distribuent les gaz chauds dans une masse d'eau de 6000 litres. Les barreaux de la grille sont minces ; la cendre blanche témoigne d'une combustion bien faite, toujours sans réclame de fumivorité. Le dôme de 1 mètre de diamètre sur $0^m,950$ de hauteur, complète la chambre de vapeur jusqu'à concurrence de 2300 litres environ.

Le développement total de la surface de chauffe avec le retour est de 100 mètres carrés et représente par conséquent une force de plus de 65 chevaux, à raison de $1^{mc},50$ par cheval, ou de 80 chevaux, à raison de $1^{mc},25$.

§ 3. Les chaudières de M. Galloway (de Manchester), nouvellement employées en Angleterre, y obtiennent un certain succès. C'est le système à deux foyers AFF'A' et carneaux intérieurs ABB'A' (fig. 22) : ceux-ci sont le prolongement de ceux-là et sont en outre traversés par des bouilleurs coniques verticaux CC'C''..., dont la plus grande section est tournée vers le haut ; les faces extérieures de ces

Digitized by Google

bouilleurs sont donc chauffées par les gaz qui circulent dans les carneaux, tandis que par leur forme conique et par leur position, ils favorisent le courant d'eau chaude de bas en haut. « Ces dispositions, dit M. Bède (1) sont certes très-rationnelles ; les tubes ainsi placés ne peuvent que renforcer les parois des carneaux, leur nettoyage est très-commode, le mouvement de circulation de l'eau peut y être très-actif, et le dégagement de vapeur facile ; cependant cette chaudière, d'après les observations de M. Longridge, n'arrive, comme économie du combustible, qu'au troisième rang. Elle atteint le second lorsqu'on ajoute une partie tubulaire ordinaire d'environ 1 mètre de longueur, après la série des tubes verticaux. »—« Mais, ajoute le même auteur, en tête reste toujours la grande chaudière tubulaire ordinaire. » C'est celle à double foyer, chambre de combustion, faisceau tubulaire de Fairbairn, suffisamment connue pour que nous nous dispensions de la décrire : c'est ce système que la maison Houget et Teston (associé M. Emile Bède, de Verviers), a choisi pour alimenter le moteur à deux cylindres conjugués du secteur belge ; au point de vue de la production économique de vapeur, pour le service des grandes forces, c'est sans contredit le générateur le plus recommandable. La difficulté qui résulte des eaux très-incrustantes et le prix élevé de sa construction, ont été jusqu'à présent les principaux obstacles à son emploi général ; mais l'application du système Berendorff à l'ajustement des tubes, lève la première de ces difficultés. Quant au prix, lorsqu'il s'agit de forces motrices considérables, d'une cinquantaine de chevaux, par exemple, le sacrifice que s'impose l'industriel pour se procurer des engins de premier mérite est souvent compensé par des économies journalières, dont l'addition est un allége important pour les frais généraux de la fabrication. « L'argent utilement dépensé, disent les économistes, est la pierre de touche de la sagesse pratique. »

§ 4. Les barreaux minces ont été éprouvés déjà depuis

(1) *Économie du combustible*, p. 197.

Digitized by Google

bien des années. Le premier volume de la *Publication industrielle*, de M. Armengaud aîné, les mentionne en 1843 et reporte à l'année 1839 les premiers essais faits par M. Tresel, ingénieur mécanicien à Saint-Quentin. Ces barreaux restent froids à la partie inférieure et sur les côtés, de sorte que, malgré leur faible épaisseur, ils se soutiennent sans flexion sur leurs appuis. La multiplicité des jours facilite l'accès de l'air et favorise la combustion. Voici les conclusions tirées par M. Ivan Schlumberger, de Mulhouse, des expériences comparatives faites dans son établissement : 1° par le grand nombre et la régularité des écartements, l'air est introduit dans le foyer en grande quantité et uniformément sur toute la surface; — 2° le tirage est amélioré, la combustion, plus régulière, est presque parfaite, car la cendre qui tombe dans le cendrier est blanche comparativement à celle des autres foyers; — 3° ces barreaux durent plus longtemps (j'ose dire, d'après ma propre expérience, qu'ils ont une durée indéfinie). La quantité d'air froid que reçoit la grille rafraîchit plus facilement des masses de peu d'épaisseur et les empêche de brûler ou de se fondre; — 4° en raison de cette température de la grille, le charbon et le mâchefer ne tendent pas à s'agglutiner et à s'attacher à la grille.

Malgré ces avantages devenus notoires et appréciés chez nous, notamment aux chemins de fer de l'État, faciles à constater du reste, nous avons été surpris de ne trouver à l'Exposition de 1867 que bien peu de foyers formés de minces barreaux. Il est vrai que, pour en tirer un utile parti, les pièces doivent être irréprochablement moulées et même, au besoin, ajustées à un certain degré : ainsi M. Schlumberger faisait observer, dans son rapport à la Société industrielle de Mulhouse, que l'on passe sur la meule la face supérieure de ces barreaux et les petits mamelons ou soutiens de côté, afin que la grille mise en place forme une surface bien plane, sans aspérités, et que tous les barreaux soient également espacés. — Nous sommes cependant en mesure d'affirmer que l'on obtient aisément dans les bonnes fonderies liégeoises des barres de 0m,012 d'épaisseur au-dessus, 0m,004 au-dessous,

Digitized by Google

sur une longueur de 0m,750 à 1 mètre, suffisamment nettes et droites pour éviter les opérations dont parlait M. Schlumberger, et cela pour un prix fort peu supérieur à celui des gros barreaux. Ceux-ci, d'ailleurs, n'ayant qu'une durée très-courte, ont bientôt transformé en perte la fallacieuse économie du prix de fabrication; tout plaide donc en faveur des grilles minces, et leur prix et l'économie du combustible qu'elles procurent.

§ 5. Mais la passion des brevets fait dérailler bien des esprits : à quoi servirait cette multitude de systèmes fumivores, si les foyers étaient bien faits et si la fumée n'existait pas? Construire un mauvais foyer, produire une quantité indue de fumée, puis la brûler à l'aide d'une complication quelconque propre à constituer un sujet de brevet sans garantie ni du gouvernement ni de l'inventeur, voilà le cercle vicieux dans lequel un grand nombre de personnes se plaisent à dépenser leur activité.

§ 6. Depuis près de quinze années, l'Angleterre d'abord, la France ensuite, ont donné le jour aux fameux décrets qui imposent aux industriels l'obligation de brûler leur fumée; à cette époque on avait enregistré en France, dans le catalogue des brevets, vingt-six procédés pour se débarrasser de cet inconvénient. Une année après la publication des décrets de Londres et de Paris, on avait encore pris trente-cinq patentes; enfin on en comptait cent trente au moins, pour la France seulement, à la fin de 1861 (1). Si l'on considère tous ces appareils, dont chacun est armé de nombreuses attestations émanées de fabricants bénévoles, et même souvent d'ingénieurs, on ne peut s'étonner de la peine qu'on éprouve à sortir de l'embarras du choix; cependant si l'on va au fond des choses, et surtout si l'on étudie soi-même les faits sans opinion préconçue, il n'est pas très-difficile de trouver le chemin de la vérité.

§ 7. Les lois de l'hygiène publique imposent à l'industrie le devoir de soustraire le voisinage à la servitude de ses exha-

(1) *Bulletin de la Société de Mulhouse*, juin 1863, t. XXXIII.

Digitized by Google

laisons ou de ses déjections dangereuses ou incommodes : la fumée est du nombre. Tout citoyen, et en particulier tout industriel, est responsable des dommages qu'il cause à la propriété d'autrui, dans son acception la plus large, comprenant la santé, la sécurité, aussi bien que les valeurs mobilières ou immobilières; l'absence de fumée dans les endroits populeux, *peu importe à quel prix*, voilà le droit. Si l'autorité intervient, soit comme juge du dommage, soit comme exécutive, elle ne s'enquiert pas des moyens les plus ou les moins onéreux par lesquels le fabricant satisfait le droit ; l'initiative de celui-ci reste seule chargée de résoudre le problème économique. Et cependant l'économie du combustible est aussi une question d'intérêt général.

Il y a par conséquent un double problème, dont la solution doit comprendre deux résultats singuliers : absorption de la fumée et économie du combustible. Bien que le premier soit le plus urgent, on ne peut méconnaître l'importance du second (1). Or la combustion exige une certaine dose d'air :

---

(1) L'intérêt privé, dira-t-on, est une garantie suffisante de l'intérêt public. Nous acceptons cette proposition comme un axiome théorique ; nous reconnaissons volontiers qu'à l'aide du temps, ce marcheur incessant, toute idée juste fait son chemin, et arrive au but quand l'intelligence générale s'est élevée au niveau des esprits initiateurs : l'axiome théorique se propage et se transforme progressivement en réalité. Mais combien nous pourrions citer chez nous et ailleurs, à Paris même, où les frais de transport donnent au charbon une si grande valeur (la gailletie de Charleroi coûte 45 francs la tonne) que les choix médiocres y sont presque inconnus, combien nous pourrions citer d'entreprises donnant des bénéfices si fabuleux à leurs actionnaires que ceux-ci ne se soucient point des comptes, et encore moins de savoir si les prix de revient sont les plus bas possible. Un propriétaire de Bruxelles, à qui je faisais remarquer certains défauts de son usine faciles à modifier, me répondit : « Oh ! je le sais, il faut que mon affaire soit bien bonne pour supporter tout *le coulage* qui se fait ici ! Mais que voulez-vous, cela me rapporte autant et la vie est si courte ! » Cette philosophie individuelle n'appartient pas exclusivement à une localité ; elle a sa traduction dans plusieurs langues, et peut expliquer plus d'un naufrage dû au souffle sévère de la science ou à une simple modification du courant commercial.

Digitized by Google

s'il y en a trop peu, la combustion est incomplète, l'effet utile est trop faible, et il y a production de fumée noire; s'il y en a trop, la combustion peut être complète, mais la chaleur emportée par l'air en excès compense et au delà celle qui est dégagée en plus par une meilleure combustion. Ainsi la difficulté consiste à fournir au foyer une quantité d'air suffisante pour brûler entièrement les gaz distillés par la houille, sans y laisser pénétrer un excès nuisible. En d'autres termes, la solution intégrale du problème dépend essentiellement des *bonnes proportions du fourneau* (eu égard à la qualité du combustible employé) et de la *conduite du feu*. En effet, nous avons vu maint chauffeur laisser échapper des torrents noirs de foyers ordinaires que d'autres savaient manœuvrer sans cet inconvénient, tout en se servant de houilles fumeuses; e même fait a été signalé depuis longtemps par la plupart des ingénieurs qui se sont le plus spécialement appliqués à l'étude du chauffage des chaudières à vapeur. Malgré cette observation déjà ancienne et plus d'une fois répétée par des autorités incontestées, l'art du chauffeur est encore négligé, peu enseigné, tandis que le génie des inventeurs s'épuise à imaginer une innombrable variété de dispositifs à peu près aussi efficaces les uns que les autres, et n'offrant en réalité qu'une solution partielle de la difficulté.

§ 8. En 1785, le père de la machine à vapeur, James Watt, avait adopté la combinaison de deux grilles placées à la suite l'une de l'autre : la première, alimentée de charbon cru; la seconde, qui touchait l'autel, chargée de coke. La fumée formée par la distillation de la houille sur la première grille se brûlait au contact de l'air chaud, encore riche en oxygène, qui avait traversé la couche de coke incandescent.

Ce brevet a servi de point de départ à beaucoup d'autres; M. de Chodzko nous saura gré sans doute de revendiquer pour son invention cet illustre berceau; on est toujours heureux de faire partie d'une bonne famille (1). Suivant

(1) V. *Bulletin de la Société d'encouragement*, année 1855, grille Chanter et autres.

Digitized by Google

M. Combes, « le foyer de M. Chodzko peut être mis au rang des bons appareils fumivores, exempts de tout mécanisme compliqué, et qui n'exigent pour la conduite du feu qu'un peu de bonne volonté, des soins et des précautions simples à la portée du chauffeur le moins intelligent. » C'est déjà beaucoup dire; cependant si M. Combes avait cru devoir subordonner l'efficacité de ce foyer à l'intelligence et au savoir-faire de l'ouvrier, nous ne lui marchanderions pas notre confiance. Quoi qu'il en soit, voici en quoi consiste le dispositif (fig. 23) : une première grille A reçoit, comme d'ordinaire, le combustible; une seconde grille B, de même largeur, mais moins longue, est placée en arrière et à 0m,25 en contre-bas de la première; le chauffeur y repousse périodiquement une portion de coke formée sur celle-ci. Une voûte H en briques réfractaires de 0m,20 d'épaisseur, établie au-dessus de la grille B, à une distance de 0m,24 de celle-ci, oblige la fumée et les gaz incomplétement brûlés à tournoyer en passant sur le feu de coke incandescent qu'elle supporte; l'air pur et fortement chauffé qui traverse cette couche de coke se mélange intimement avec ces gaz, et les brûle.

La grille B est munie d'une porte *b* comme la grille A; une troisième porte régulatrice *c* est adaptée au cendrier de la grille B, pour modifier suivant le besoin la quantité d'air admise. Les barreaux des grilles n'ont que 0m,010 d'épaisseur au-dessus et sont espacés de 0m,003. Nous tenons ce dernier détail, très-important selon nous, de M. Chodzko lui-même ou de son agent, qui a bien voulu nous remettre un dessin et un prospectus.

Le principe de cette combinaison consiste donc dans le passage de la fumée sur une partie claire du foyer; sa forme rappelle beaucoup celle de M. Chanter. L'inclinaison de 0m,040 à 0m,050 par mètre, que l'on donne aujourd'hui à presque toutes les grilles, n'a d'autre but que de classer le combustible dans le sens de la longueur du foyer, suivant les modifications qu'il subit depuis le commencement de sa combustion jusqu'à la fin, et de favoriser la répartition la plus convenable à l'air appelé, suivant ses modifications succes-

Digitized by Google

sives; le fond du foyer devient ainsi une vraie chambre à mélange, où se rencontrent et se combinent l'air chaud, riche en oxygène, et les gaz combustibles distillés par la région antérieure. Un peu plus compliqué, le système Chodzko a le mérite, avec les houilles sèches, d'enlever au nettoyage du feu une partie de ses inconvénients. En effet, la grille de devant ne se nettoie jamais; tout finit par être envoyé à la grille d'arrière : là est absorbée la totalité du combustible proprement dit, et là aussi restent le mâchefer et les cendres. Avec un long ringard, appuyé sur une forte cheville *a* appliquée à l'un des murs latéraux, le chauffeur décharge ces résidus après l'épuisement de la matière utile, puis il recouvre de nouveau la grille B de charbon incandescent aux dépens de la grille A, dont il n'a qu'à surveiller de temps en temps l'activité. Avec les houilles grasses ou demi-grasses, il ne paraît pas que le travail soit aussi aisé.

Cet appareil est un de ceux qui, d'après le rapport de M. l'ingénieur Combes, membre du conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine, doit être cité avec les autres appareils fumivores donnant des résultats satisfaisants... Nous n'hésitons pas à le croire excellent, *pour autant qu'il soit dans de bonnes mains;* mais nous croyons aussi que les mêmes résultats seraient obtenus par la construction ordinaire, barreaux minces, légèrement inclinés, bonne distribution des charges de combustible et maniement rationnel des régulateurs d'air. Outre le témoignage de notre expérience personnelle, nous invoquons les *Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse* (1), si riches de renseignements sur ce sujet.

§ 9. M. de Chodzko, cependant, ne se contente pas d'avoir donné satisfaction aux exigences de l'hygiène et de la propreté : il revendique pour son foyer des qualités économiques qui se chiffrent par 20 pour 100 sur le rendement des houilles

(1) Saisissons cette occasion pour rendre hommage à l'intelligence et au zèle infatigable et désintéressé déployé, par les membres de cette remarquable compagnie, dans toutes les questions techniques et scientifiques, et notamment dans celle qui fait l'objet de ce rapport.

Digitized by Google

ordinaires. A première vue, on n'hésite pas à concevoir que, la combustion des fumées devant correspondre à un dégagement de chaleur, celle-ci s'ajoute à la chaleur ordinaire ; par conséquent, il doit y avoir bénéfice à brûler la fumée. D'après M. de Chodzko, il aurait donc réussi à donner au problème ses deux solutions, si difficiles à concilier, que M. Combes, M. Couche et d'autres ingénieurs expérimentés les ont déclarées incompatibles? Consultons les témoignages.

On lit dans le rapport de M. Combes, en date du 26 mars 1860 : « Les résultats constatés jusqu'ici paraissent indiquer une économie de combustible en faveur du foyer modifié. Toutefois l'expérience n'a pas duré assez longtemps pour que l'économie de combustible soit parfaitement assurée. Toujours est-il qu'il n'y a pas eu accroissement de dépenses. »

L'Académie des arts et métiers, ayant pour président M. Charruau, a décerné à M. de Chodzko une médaille d'or pour son invention, à la suite du rapport rédigé par une commission composée de MM. Joubert, l'abbé Lafage et Lemaire, architecte. « L'appareil était appliqué dans une vaste usine qui s'occupe du blanchiment des étoffes de laine et de leur teinture; quatre générateurs de la force de 20 chevaux chacun fonctionnent continuellement... Chaque générateur a son fourneau spécial, mais ils communiquent ensemble, de sorte que la pression est égale partout. Le fumivore Chodzko a été appliqué à deux fourneaux.

« Les huit premiers jours, chaque fourneau non muni de fumivore a consommé 60 brouettées de houille, soit 6000 kilogrammes. Le premier fourneau muni d'un fumivore en a consommé 50 et le second 51 brouettées, soit 5000 et 5100 kilogrammes ; cela fait en moyenne 18 pour 100 d'économie, ce qui est déjà fort beau. Une seconde huitaine d'expérimentation a été plus positive encore, en ce sens que les chauffeurs avaient appris par la pratique le maniement du fumivore. Les appareils non munis de fumivore ont consommé de même 6000 kilogrammes de houille, tandis que ceux munis du fumivore n'en ont brûlé que 4800, ce qui constitue une économie de 20 pour 100, etc., etc. »

Digitized by Google

La Société centrale des architectes, par l'organe de ses commissaires, MM. DE JOLY père, VAN CHEM, et ROHAULT DE FLEURY, rapporteur, déclare, en date du 21 mai 1861, que « d'après les renseignements pris dans l'établissement, l'économie serait très-notable. »

M. GIRARDON, directeur de l'École centrale lyonnaise, atteste que des expériences comparatives ont été faites les 4 et 5 mars 1862 sur les grilles fumivores Chodzko, et les 11, 12 et 14 mars sur les anciennes grilles de l'établissement; que les expériences ont duré dix heures chaque jour sous les yeux des commissaires, MM. MICHEL, teinturier; GOBIN, ingénieur des ponts et chaussées; COIGNET, fabricant de produits chimiques; Ph. LORENTI, professeur de physique à l'École centrale; ANCELLE, ingénieur civil; et Girardon, directeur de l'École centrale, assistés de deux ou trois élèves. La pression étant maintenue constamment à 3 atmosphères et demie, la moyenne de l'eau vaporisée avec le fumivore pendant deux jours a été de $10^k,1$ par kilogramme de charbon; la moyenne de trois jours, $7^k,14$ seulement avec les grilles ordinaires : soit donc une économie de 30 pour 100.

Les autres témoignages constatent des économies qui vont jusqu'à 33 un tiers pour 100 et ne descendent pas au-dessous de 25. M. ARNOUX, fabricant d'huiles à Marseille, trouve sur le *lignite* de Fureau, *sans mélange de houille,* une économie de 13,8 pour 100 en faveur de la grille Chodzko.

Certes, en présence de cette grêle de certificats, il est bien permis d'avoir un peu de vertige; remettons-nous cependant, et demandons pourquoi dans des rapports de ce genre on a si unanimement négligé de spécifier quelles espèces de fourneau, et notamment quelles grilles ont été soumises aux expériences concurrentes? Nous croirons sans peine que le fumivore en question a pu distancer, sous le rapport de l'effet utile, des foyers mal faits; la défectuosité de ceux-ci ressort des résultats qui précèdent, et non le mérite absolu du nouvel appareil. On donnerait une valeur bien plus haute à tous ces chiffres, si on les accompagnait d'une description

Digitized by Google

scrupuleuse des appareils éprouvés concurremment avec celui de l'inventeur. Tant que le procès est privé de ce document, il nous semble prématuré de formuler un jugement numérique définitif, et nous imiterons la sage réserve de M. Combes, réserve qui aurait dû éveiller quelque susceptibilité chez l'honorable directeur de l'École centrale lyonnaise.

Nous sommes d'autant plus fondé à ne pas nous laisser séduire par les superbes certificats de M. Chodzko, que cet ingénieur a suivi lui-même à Dornach (Haut-Rhin) les essais qu'il avait demandé de faire comparativement à un foyer ordinaire bien proportionné et bien conduit. Les expériences contradictoires ont duré trois semaines; *avec la houille demi-grasse, la manœuvre du foyer a été pénible;* il était très-difficile de tenir convenablement couverte la grille postérieure et de dégager cette même grille des scories qui l'obstruaient. En définitive, il n'y a pas eu d'économie, et c'était cependant le point sur lequel l'inventeur insistait par-dessus tout (1).

§ 10. On trouve encore dans le parc d'autres foyers *fumivores par construction spéciale* : par exemple, celui de M. Palazot, appliqué à la chaudière à bouilleurs de M. P. Boyer (de Lille). Le principe de ce fumivore est à peu près le même que celui auquel nous venons de consacrer un assez long paragraphe; M. de Chodzko n'expose de son appareil qu'un petit modèle en bois, et invite les visiteurs de l'Exposition à se rendre à l'imprimerie impériale, où fonctionnent deux foyers, pour entendre dire qu'ils continuent à satisfaire l'administration, depuis le mois de mars 1866. Le système Palazot est installé en marche à l'Exposition même, et l'on peut assister, non pas à des expériences complètes, mais aux diverses manœuvres qu'il comporte; nous devons déclarer que le chauffeur, abandonné à lui-même, s'est empressé de faire valoir l'invention, et nous a paru posséder très-bien les éléments de son métier; les inventeurs de fumivores feront toujours sagement de ne pas méconnaître l'importance du

(1) *Bulletin de la Société de Mulhouse*, 1863, t. XXXIII, p. 254.

Digitized by Google

fonctionnaire préposé à la conduite du feu, et d'apporter toujours leurs plus grands soins à le bien choisir ou à le bien dresser.

§ 11. Le fumivore de M. Palazot a été l'objet d'un grand nombre de notes, de mémoires et de discussions. D'abord un rapport de M. Lancelin, ingénieur des ponts et chaussées, en 1861 et 1862 ; un autre de M. Linder, ingénieur des mines, en 1861 et 1862 ; un du conseil de salubrité de la Gironde en 1861, suivi d'un arrêté du préfet de la Gironde, en date du 22 juin 1862, prescrivant aux propriétaires ou chefs d'établissements placés dans les villes et autres centres de population du département de la Gironde, de brûler la fumée produite par leurs fourneaux, de manière que cette fumée, si ce n'est au moment de l'allumage, ne dépasse jamais en intensité celle d'un foyer domestique. Parmi les nombreux certificats des industriels de la ville de Bordeaux, aucun ne dénie le fait de l'économie, plusieurs l'affirment et quelques-uns la portent à 8 et 10 pour 100 ; M. Lancelin l'évalue à 16 pour 100 après une expérience de quelques heures ; M. Linder l'estime de 8 à 12 pour 100 (1) ; enfin M. l'ingénieur en chef des mines Callon, résumant les expériences comparatives faites à l'hôtel des Monnaies de Paris, constate une économie de 7 pour 100 sur un foyer et de 12 pour 100 sur un autre.

§ 12. Il n'est pas juste de prendre les moyennes des résultats extrêmes indiqués par M. Linder d'une part, et Callon de l'autre : ces différences ne peuvent être dénuées d'importance. Eh quoi ! chez M. Chodzko on signale des économies variables depuis zéro pour 100 et même moins, jusqu'à 33 pour 100 ; chez M. Palazot, de 7 à 16 ? Comment ces inventeurs oseraient-ils courir la chance de garantir *à priori* une économie déterminée ? Cela est loyalement impossible.

Les écarts sont trop grands pour que la moyenne puisse représenter la situation vraie : chaque résultat comparatif

(1) Rapport de M. Callon, *Annales des mines*, 6e série, t. IV, p. 206. Voyez aussi p. 209.

Digitized by Google

peut être une vérité locale et particulière, mais rien de plus.

En vérité, plus nous étudions de documents, plus notre surprise est grande de voir les experts négliger, dans leurs mémoires, la spécification exacte de la qualité du foyer dit *ordinaire* soumis aux expériences de comparaison avec l'objet breveté : ce défaut capital suffit à expliquer les énormes écarts qui se font remarquer dans les résultats. Des détails sur la conduite du feu ne nuiraient pas non plus à la lucidité des conclusions ; ce dernier point ne semble pas avoir échappé à M. Callon, car il dit : « Au sujet de l'économie du combustible, il faut remarquer qu'en général les résultats d'expériences spéciales sont toujours plus favorables que ceux d'un travail courant. *Les ouvriers se sentent surveillés et sont plus vigilants* : on opère sur des appareils en bon état, etc., etc. On pourrait faire une longue liste de procédés industriels qui ont été annoncés comme donnant des économies de 10 pour 100, 20 pour 100 et plus, qui les ont même données en effet dans des expériences spéciales, et que la pratique n'a cependant point sanctionnés. »

Nous aurons encore l'occasion d'insister sur ce détail, nous nous bornons à ajouter ici que M. Callon conseille prudemment d'être en garde contre la séduction de certains chiffres, et rappelle à ce propos les expériences justement célèbres consignées dans le mémoire de M. Combes (*Annales des mines* de 1847, t. XI, 4e série).

§ 13. Le système Palazot supprime la fumée par un appel d'air supplémentaire au moment où la houille distille ; les gaz chauds et cet air se rencontrent sur une surface fortement échauffée, et disposée de façon à occasionner un remous qui favorise le contact et la combinaison chimique ou combustion. En avant de la grille (fig. 24) et transversalement à celle-ci, près de la porte, est disposée une seconde grille A, qui laisse pénétrer un courant d'air extérieur perpendiculairement au courant de la flamme ; la quantité d'air ainsi introduit peut être réglée au moyen d'un registre C que le chauffeur manœuvre à l'aide d'une tringle arrêtée dans les dents d'une crémaillère. Une voûte B couvre

Digitized by Google

une partie de l'autel : le vide qui existe entre la voûte et les bouilleurs et par lequel tend à passer le courant gazeux, est bouché à l'arrière par un mur mince D en briques réfractaires.

§ 14. Lorsque la disposition des foyers s'y prête, M. Palazot introduit l'air par une fente étroite A pratiquée dans toute la largeur de l'autel, à quelques centimètres en arrière de la grille (fig. 25) : le chauffeur peut régler à volonté la proportion, au moyen du registre C′ disposé au fond du cendrier : tout le reste est conforme à la description de la figure 24.

La voûte est destinée à étrangler l'entrée du carneau et à concentrer dans un très-petit espace une très-grande chaleur : c'est là la chambre à mélange ou à combustion. L'air extérieur appelé par l'orifice A (fig. 24) passe au-dessus du charbon et se mélange avec les produits de la combustion incomplète. Ce mélange, en arrivant sur la voûte de l'autel, est élevé à une très-haute température et brûlé : la fumée en effet disparaît très-sensiblement.

§ 15. Les décisions de la Société industrielle de Mulhouse jouissent d'un grand poids en matière de chauffage des chaudières à vapeur : la plupart des inventeurs recherchent d'autant plus ardemment son approbation, qu'elle est rarement accordée. Armé des nombreux documents dont nous avons déjà parlé, M. Palazot a présenté son système au comité de mécanique de Mulhouse, espérant sortir victorieux des épreuves difficiles auxquelles il allait être soumis. Nous saurons à quoi nous en tenir sur les résultats des essais de Mulhouse, ainsi que sur d'autres, en suivant une discussion qui s'est engagée au mois de mai 1865 dans le sein de la Société des ingénieurs civils de Paris, sous la présidence de M. Salvetat, discussion dans laquelle la parole a été prise par beaucoup de personnes compétentes.

§ 16. M. l'ingénieur Malo a visité un certain nombre de foyers Palazot : *on a produit devant lui des torrents de fumée noire* (justement comme devant nous à l'Exposition) : — l'ouverture de l'orifice les a fait disparaître en cinq ou six se-

Digitized by Google

condes, et les a réduits à l'apparence d'une fumée diaphane, légèrement grisâtre, presque incolore. Dans différentes usines, on a constaté des économies de 8 à 12 pour 100 dans la dépense de charbon ; dans d'autres, on a pu employer du charbon de moindre qualité, des agglomérés, et maintenir plus facilement la pression : donc il y a économie.

D'un autre côté, M. Dubied fait remarquer que, dans les expériences très-minutieuses de Mulhouse, on a comparé avec soin la consommation d'un même foyer *établi dans de bonnes conditions*, *avant et après* l'établissement de la disposition Palazot, et que la consommation *n'a pas sensiblement varié*. De plus, fait observer un autre ingénieur, il a été impossible, dans une manufacture importante de mettre la chaudière en pression, bien que l'inventeur lui-même ait rempli, en désespoir de cause, le rôle de chauffeur. La fumivorité n'est probablement que la conséquence de grands excès d'air qui enlèvent au fourneau plus de chaleur que ne lui en fait gagner la combustion complète. Il ressort des essais de Mulhouse, que ce foyer, pour produire *peut-être une faible économie*, doit être appliqué à des générateurs d'une surface de chauffe très-étendue. On cite encore une raffinerie, celle de M. Sommier, où l'on n'emploie aucun des fumivores connus, où l'on ne chauffe pas de grands excès d'air, mais où, avec des foyers ordinaires bien construits (et sans doute bien conduits), les cheminées ne fument pas plus que celles des fabriques où les systèmes Palazot et autres sont en vénération, et l'effet utile est supérieur à celui de ces systèmes.

§ 17. Cette discussion nous apprend que plus d'un ingénieur se trouve désillusionné à l'endroit des *foyers fumivores par construction spéciale*, et professe un scepticisme accentué à ce sujet ; qu'il est possible d'obtenir les mêmes avantages et de plus grands encore avec un foyer ordinaire bien fait et *bien conduit ;* qu'enfin les économies miroitantes mises sous les yeux du public toujours avide d'extraordinaire, sont fondées sur des expériences faites, involontairement peut-être, concurremment avec des foyers défectueux.

Digitized by Google

C'est ce qui n'a pas échappé à M. Fourneyron : « Je ferai remarquer, dit-il, que l'auteur ne décrit pas la disposition des foyers avant et après l'application du système. C'est souvent à des modifications indépendantes du système à expérimenter qu'il faut attribuer les économies constatées dans bien des essais de ce genre. La Société de Mulhouse, appelée à expérimenter l'invention de M. Palazot, a su se mettre à l'abri de ces causes d'incertitude et d'erreurs. Son rapport renferme les indications les plus précises sur tous les points qui peuvent influer sur les résultats. On a tout mesuré avec soin : le volume et la température de l'air consommé, la dépense de charbon dans les périodes successives de l'expérience, la production de vapeur correspondante ; et le rapport si remarquable de la commission de Mulhouse, qui cite aussi les résultats étranges qui lui ont été communiqués, se termine par des conclusions toutes différentes de celles de M. Malo. » D'autres ingénieurs, MM. Nozo et Richoux, appuient l'observation de leurs collègues : ils ont eu l'occasion de *voir* combien de simples modifications de formes dans les chaudières peuvent en améliorer les résultats : ils en citent des exemples, le simple changement de largeur de la grille, ou d'espacement des barreaux, etc. Il est donc indispensable à l'exactitude du jugement de décrire avec soin le fourneau avant et après l'application du système breveté, et même d'expliquer les soins apportés dans l'un et l'autre cas à la conduite du feu. Nous avons déjà cité ailleurs (1) des exemples de l'influence du chauffeur sur l'effet utile du combustible ; ce que nous avons vu est confirmé par ce qui s'est passé dans les concours organisés par la Société de Mulhouse, auxquels ne sont convoqués que les chauffeurs d'élite : les résultats auxquels ils parviennent au même fourneau présentent des différences qui s'élèvent jusqu'à 12 pour 100.

La Compagnie des houillères de Ronchamp a établi une

(1) *Traité du chauffage et de la conduite des machines fixes et locomobiles.* (E. Noblet, éditeur.)

Digitized by Google

école de chauffage : un contre-maître habile parcourt les différents établissements d'Alsace, et montre aux chauffeurs la manière d'utiliser la houille de Ronchamp ; il paraît que, dans certains établissements, il a réalisé des économies de 25 et même 30 pour 100, et cela *sans qu'aucune modification ait été introduite dans les dispositions des foyers ni des chaudières*. On conçoit que cette influence considérable de la manœuvre doit rendre les expériences très-délicates.

§ 18. En définitive, l'appareil de M. Palazot a le mérite de la simplicité ; mais on vient de voir que l'on peut tirer un aussi bon parti et même un meilleur, d'un foyer ordinaire, c'est-à-dire encore plus simple que celui-là. En quoi consiste cette disposition brevetée, et qui en rappelle plusieurs autres, de d'Arcet, de Parkes, etc.? (1). En premier lieu, elle consiste dans un orifice par lequel on admet, à un moment donné, un supplément d'air ; orifice dont l'ouverture est à la disposition du chauffeur : s'il est capable et soigneux, tout peut aller bien ; mais tout ira bien encore s'il manœuvre aussi judicieusement la porte même de son foyer. Si, après avoir chargé sa grille, il a soin de laisser cette porte entrebaillée de telle sorte qu'elle donne accès à un léger filet d'air passant au-dessus du foyer, la fumée arrive bientôt à ce ton gris diaphane décrit par M. Malo, à moins que la houille ne soit d'une qualité excessivement fumeuse. Mais on emploie rarement ce genre de houille pour les chaudières, si ce n'est dans certaines localités, où il serait trop coûteux de s'en procurer d'autre : alors les foyers fumivores les plus estimés deviennent impuissants à conjurer le mal, et l'habileté de l'ouvrier est encore seule à même de le diminuer.

Si le chauffeur a soin de refermer la porte aussitôt que la couche de houille est bien enflammée, il n'y aura pas d'excès d'air, et la perte correspondant à cet excès d'air échauffé aux dépens du feu sera épargnée.

Mais il est évident que dans l'un et l'autre cas, comme dans celui où, pour ne pas permettre au chauffeur de laisser

(1) V. Péclet, *Traité de la chaleur*.

Digitized by Google

sa porte indûment ouverte, celle-ci est attachée au registre de la cheminée, et munie d'une glissière pouvant laisser introduire un supplément d'air sur le foyer, tout dépend de l'aptitude et de la bonne volonté de l'homme.

En second lieu, la disposition de M. Palazot consiste dans un rétrécissement du passage des gaz au-dessus de l'autel. Il est facile de prévoir que les gaz acquerront dans ce passage étranglé une vitesse considérable ; bien qu'au delà de l'étranglement cette vitesse diminue dans le carneau, il n'en est pas moins vrai qu'un noyau cylindrique fuit avec une grande rapidité relative dans l'intérieur de la masse gazeuse, et arrive à la cheminée sans effet utile pour le générateur, lorsque sa surface de chauffe a peu de longueur, c'est-à-dire quand les gaz n'ont à parcourir qu'un faible trajet depuis le foyer jusqu'à la cheminée.

Quant à la gaîne extérieure qui lèche les parois, sa dilatation absorbe une partie de la chaleur que le remous a pu lui faire gagner.

§ 19. Si cependant les carneaux ont un long développement, le noyau finit par se mélanger intimement à la gaîne ; la quantité de chaleur perdue sera moins grande : cette perte peut être compensée par l'excédant de chaleur dû à la combustion complète de la fumée, mais *surtout par le refroidissement plus complet des gaz au profit de l'eau.* C'est ce que confirment les expériences de Mulhouse : le foyer Palazot donne une perte sensible de 4, 6 à 6.5 pour 100 avec des chaudières *sans réchauffeurs*; tandis qu'avec des réchauffeurs à très-grandes surfaces, il peut réaliser une économie de 2 à 3.8 pour 100.

§ 20. On est assez porté, en vue de la fumivorité, à créer, au moyen de rétrécissements à l'entrée du premier carneau, un remous d'air dans lequel le mélange gazeux, composé de l'air et des produits combustibles, s'effectue plus intimement et favorise la combustion.

Mais si l'on considère que dans le foyer la masse de gaz, qui se développe très-rapidement, possède une très-haute température et un très-grand volume, n'est-il pas logique de

Digitized by Google

lui ouvrir vers le carneau une entrée facile, aussi vaste que le foyer lui-même, afin qu'elle y chemine avec une vitesse modérée au grand profit de la vaporisation? Cela n'est-il pas préférable que de la lancer violemment hors du foyer, et de la laisser arriver à la cheminée avant d'avoir dépensé sa chaleur?

Si au moment d'une charge un peu abondante, le conducteur du feu est assez habile pour doser convenablement l'air affluent, la majeure partie de la fumée se résout en fluide incolore et même brillant, en flamme, sans qu'il y ait besoin de condenser la masse volatile : la disparition plus ou moins parfaite de la masse noire dépend du plus ou moins de savoir-faire de l'homme qui conduit le feu. Rien de plus, mais rien de moins : toutes les observations et toutes les expériences autorisent à affirmer que tout foyer bien proportionné et *bien conduit* peut être fumivore, non d'une fumivorité absolue, mais d'une fumivorité satisfaisante.

C'est avec raison que l'on a comparé le foyer des chaudières à une lampe Carcel ou Modérateur. Sans cheminée, c'est-à-dire sans le tirage, la lampe donne de la fumée ; si la distillation d'huile est trop considérable malgré un bon tirage, il y a encore de la fumée ; enfin s'il passe trop d'air, il se produit encore de la fumée par un refroidissement trop rapide ; or, rendre une lampe fumivore est une affaire facile avec une crémaillère réglant la hauteur de la mèche (c'est-à-dire la distillation et le tirage utile). Il en est de même pour un générateur à foyer en maçonnerie, si celui-ci a un tirage suffisant, si la surface de la grille est telle que la couche de combustible gras ne dépasse pas $0^m,080$ d'épaisseur ; si les gaz sont complétement brûlés dans la chambre à combustion avant d'atteindre les parois réfrigérantes, on obtient toujours un foyer fumivore, simple à conduire ; le registre de la cheminée est son régulateur, et tout est dit et obtenu dans des conditions économiques.

§ 21. Ajoutons encore une citation, que M. Couche a utilisée dans son grand travail sur l'emploi de la houille dans les foyers de locomotives, pour démontrer que les mécani-

Digitized by Google

ciens soigneux et habiles réussissent à brûler la fumée même avec des charbons décidément fumeux ; cette citation est encore une fois empruntée à MM. Burnat et Dubied, de Mulhouse (1).

« Si les nombreux inventeurs d'appareils fumivores et autres, tous destinés à réduire dans une forte proportion la consommation du combustible, allaient visiter l'usine de Wesserling, plus d'un sans doute y laisserait ses illusions, à l'examen de générateurs qui ont des grilles ordinaires et ne fument pas, et qui abandonnent l'air chaud dans leurs cheminées à une température comprise entre 130 et 180 degrés.

« C'est après l'avoir vu de nos yeux que nous affirmons que les cheminées à Wesserling ne fument pas, ou du moins ne laissent voir rarement à leur sommet qu'une fumée peu intense. MM. Gros, Odier, Roman et Cᵉ n'ont pas attendu, comme les industriels de nos grandes villes, l'invitation de l'autorité supérieure pour construire des foyers fumivores. S'ils ne produisent pas de fumée, c'est que cela entre dans leurs convenances économiques, et qu'il leur a plu que la fumée de leurs nombreuses cheminées ne vînt pas assombrir leur riante vallée. »

§ 22. Nous venons de citer le mémoire de M. Couche sur l'emploi de la houille dans les foyers de locomotives. Ce travail a pour principal objet de rendre compte des épreuves faites sur quelques foyers fumivores appliqués aux remorqueurs de chemins de fer, et principalement sur l'appareil proposé par M. Tenbrinck.

Ce foyer se compose, à l'intérieur de la boîte à feu, d'une grille en partie inclinée et en partie horizontale : cette dernière est mobile, de manière à pouvoir déverser le mâchefer et les cendres ; la première est fixe. Un bouilleur plat, attaché aux deux parois latérales et à la paroi du fond, disposé à peu près parallèlement à la grille inclinée, force les produits de la distillation à revenir vers la porte du foyer et

(1) Rapport sur le concours des chaudières : *Bulletins de Mulhouse*, mai 1860, t. XXXVI, p. 234. *Annales des mines*, 6ᵉ série, t. I, p. 5 et 6.

Digitized by Google

à s'infléchir pour s'élancer ensuite dans le faisceau tubulaire. Le chargement se fait par une caisse inclinée qui saillit à l'avant du foyer, dans le prolongement de la grille inclinée ; le mécanicien peut introduire l'air en plus ou moins grande quantité, suivant le besoin, au moyen d'un clapet qui s'ouvre sur le devant.

Ce système a donné généralement de bons résultats; cependant il résulte des expériences de M. Couche que certaines houilles, trop collantes et trop fumeuses, n'ont pu servir et ont dû être abandonnées : on peut citer parmi celles-ci la houille menue de Newcastle; les briquettes, le tout venant de Ronchamp.

Quoi qu'il en soit, on peut considérer, selon M. Couche, le problème de la fumivorité résolu pour les locomotives, sinon avec tous les charbons, au moins d'une manière assez générale, assez simple et assez complète pour que toutes les grandes lignes puissent en profiter.

Le foyer Tenbrinck pour locomotives a été décrit par M. Casimir Maréchal, dans la *Revue universelle*, t. X, p. 278, année 1861. On considérait alors comme secondaire la question d'économie ; la compagnie de l'Est et celle d'Orléans avaient intérêt à s'approvisionner aux bassins houillers que leurs lignes traversent. Le rapport de M. Couche date de 1862 : depuis lors, l'application du foyer Tenbrinck a pris une grande extension, surtout sur les lignes de l'Est. Il est avéré aujourd'hui que la substitution générale du charbon cru au coke a réalisé de sérieuses économies, sans préjudice pour le bien-être des voyageurs (1).

---

(1) On a obtenu le même résultat en Belgique et dans le Nord français, à l'aide du foyer de M. l'ingénieur Belpaire : le demi-gras et certains charbons maigres s'emploient avec succès, non cependant sans produire une fumée très-incommode, au moment de la charge. Il est probable cependant qu'un peu de bonne volonté de la part du chauffeur suffirait pour épargner cet inconvénient si fâcheux aux voyageurs.

Pourquoi nos chauffeurs ont-ils si peu de souci de la fumivorité? Pourquoi les registres de prise d'air dont sont munies les portes des foyers Belpaire sont-ils presque tous fermés, et même encloués? Serait-ce

Digitized by Google

M. Tenbrinck, en collaboration avec M. Bonnet, a appliqué le principe de son système à une chaudière fixe, celle de l'usine de Graffenstaden.

Ce générateur se compose d'un corps cylindrique, dont nous ne représentons qu'une partie (fig. 26) : à l'avant de ce corps principal sont reliés deux petits bouilleurs AB de 0m,500 à 0m,600 de diamètre, et dont la longueur n'excède pas celle du foyer lui-même, soit environ 2 mètres ; les bouilleurs communiquent avec la chaudière chacun par une seule tubulure C, placée vers le fond du foyer ; ils sont un peu inclinés, de façon à faciliter le départ de la vapeur vers la chambre supérieure.

Au-dessus de ces bouilleurs est une voûte DD', ouverte en OO' du côté de la façade du foyer (fig. 26) : les gaz sortant de la couche de houille entourent d'abord les bouilleurs, et reviennent en arrière pour pénétrer dans le passage OO', d'où ils atteignent la surface de chauffe du corps principal : de là ils vont achever de se refroidir au profit de trois tubes réchauffeurs logés dans un compartiment latéral de la maçonnerie.

Le foyer est divisé longitudinalement en deux compartiments correspondants à chacun des bouilleurs : la grille est à une grande distance de ceux-ci, nous l'estimons à environ 0m,500. — Chaque porte de foyer est munie d'un registre, ainsi que le cendrier.

Les barreaux sont épais, la cendre est noire. Nous ne doutons pas de la fumivorité, un excès d'air suffit pour qu'elle ait lieu ; quant à l'économie, il ne s'agit plus ici de comparer la houille au coke, et de voir le résultat financier ; la houille est

---

parce que la combustion de la fumée au moyen du supplément d'air se traduit par une diminution de la prime du mécanicien ? ou bien par un affaiblissement de la marche ? Est-ce la négligence du mécanicien qu'il faut accuser, ou le choix du charbon ? Je ne sais, toujours est-il que la fumivorité est possible, elle est nécessaire au confortable du voyageur : il y a donc lieu de tenir la main à ce que le wagon ne soit pas un étouffoir.

Digitized by Google

comparée à la houille, et le système doit lutter contre les foyers ordinaires bien construits.

Suivant M. Tresca, membre du jury, « cet appareil ne brûle si complétement les produits fuligineux de la houille que parce qu'il emploie une quantité d'air surabondante. On peut d'ailleurs en dire *autant de la plupart des appareils fumivores*, et c'est pour cela qu'en général ils donnent lieu, *quoi que l'on ait dit, à une augmentation de consommation ;* la proportion dans laquelle la consommation peut être augmentée est d'ailleurs si faible, qu'elle ne peut en aucune façon être un empêchement à un progrès qu'une circulaire de M. le ministre du commerce vient de rendre obligatoire sur les lignes de fer ; si nos compagnies ont un si grand intérêt à substituer au coke la houille crue, elles pourront bien employer une petite portion de la différence dont elles profitent, à l'amélioration de la condition des voyageurs. »

§ 23. On a imaginé aussi d'exécuter la fumivorité au moyen d'un jet de vapeur plus ou moins surchauffée au-dessus de la couche de houille, au moment de la production de la fumée. M. Grandperrin neveu, mécanicien à Paris, expose un modèle de robinet (fig. 27) à l'aide duquel s'opère le mélange intime de l'air et de la vapeur, lancé en jet divergent au-dessus de la grille. En guise de légende sur le dessin de ce robinet, nous avons lu ce qui suit : « Un volume de vapeur prise sur le générateur, et un volume d'air atmosphérique forment un mélange ayant la propriété, au moment de son introduction dans le foyer et quand le feu s'allume, ou est en pleine activité, d'*éliminer les éléments* composant la fumée et de former les combustions dont ils sont susceptibles, sans qu'il reste aucun dépôt ou noir de fumée. » Quoi qu'il en soit de cette théorie, le robinet se compose de deux pièces A et B (fig. 27), emboîtées l'une dans l'autre et réunies par un joint ordinaire *jj'* : l'ensemble est vissé suivant le filet *aa* dans l'épaisseur de la plaque de fonte qui garnit le devant du fourneau. Une glissière adaptée à cette plaque introduit l'air atmosphérique dans l'intérieur de A, d'où il s'échappe par les canaux C, C, C, C, distribués

Digitized by Google

sur la surface, qui ressemble assez bien à une pomme d'arrosoir. La vapeur arrive par B et s'échappe également par les canaux V, V, V. La dilatation des deux fluides, à leur arrivée au-dessus du feu, favorise le mélange; celui-ci se distribue ensuite dans la fumée pour en « éliminer les éléments... »

§ 24. La chaudière de M. L.-A. Quillacq (d'Anzin) est à deux bouilleurs : au corps principal cylindrique est adjoint un tube réchauffeur unique, placé latéralement comme dans l'ancienne disposition Farcot. Le foyer est dit fumivore par souffleur de vapeur établi sur le devant du fourneau (fig. 28 et 28 *bis*) : ce système appartient à MM. Thierry fils et Cᵉ, à Paris.

La prise de vapeur a lieu vers le haut du dôme en A, au moyen d'un robinet (fig. 28) le fluide est conduit dans le tube XYBZ (fig. 28 et 28 *bis*); le second robinet B, à la portée du chauffeur, sert à régler la quantité de vapeur admise. Arrivée en Z, la vapeur pénètre en remontant dans un siphon ZCD disposé à l'intérieur du foyer. La partie horizontale C de ce siphon est un tube percé de petits orifices vers la grille, et que l'on nomme *souffleur :* ces trous sont disposés de façon à lancer la vapeur vers la naissance de l'autel suivant la direction CE. Enfin le robinet D, qui termine le siphon à l'extérieur du fourneau, sert à laisser écouler dans l'air la vapeur qui a traversé la soufflerie pour juger de son état de surchauffage. La porte du fourneau et celle du cendrier sont munies de volets.

L'appareil, sans doute, est d'une grande simplicité; l'inventeur se charge de l'installer, en douze heures, sur un foyer quelconque; et nous croyons sans peine que ce temps suffit. Nous ne doutons pas non plus de son efficacité *comme fumivore*, nous l'avons vu fonctionner, et du reste le prospectus porte en toutes lettres : « Prix courants des fumivores... tout montés, *garantis pour la fumivorité* suivant les conditions rendues obligatoires par les décrets et ordonnances sur la fumivorité des foyers des chaudières à vapeur. »

Nous serions certainement tout disposé à en conseiller le placement à un industriel auquel les plaintes du voisinage et

Digitized by Google

les décrets ne laisseraient aucun délai pour supprimer sa fumée.

§ 25. Mais nous ne voyons aucune garantie concernant l'avantage économique. Est-ce un oubli, ou une simple mesure de prudence?

Le prospectus de MM. Thierry fils et C° produit un tableau d'expériences signées de MM. Tresca et Silbermann, et faites au bassin Napoléon III de Cherbourg. L'effet utile du charbon est augmenté de 13 pour 100.

Le respect que nous professons depuis longtemps pour ces savants ingénieurs était bien fait pour nous inspirer le désir de connaître entièrement leur avis, et, si possible, les détails de leur expérimentation. Nous avons trouvé l'un et les autres dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, année 1864, t. LXIII, p. 65 et suivantes.

Les premiers essais ont été appliqués au générateur du Conservatoire des arts et métiers; deux séries ont suivi dans les ateliers de M. Thierry; puis on est revenu au Conservatoire des arts et métiers; enfin l'on s'est rendu à Cherbourg.

Première série d'essais au Conservatoire : « Fumivorité complète; mais il paraît résulter des chiffres du procès-verbal que la vaporisation est *notablement moindre*, dans ce dernier cas, que par le fonctionnement du foyer *dans ses conditions ordinaires!* » Les expériences ont duré cinq heures : nous ne savons rien de la qualité du charbon employé.

Seconde série d'essais chez M. Thierry : durée de chaque expérience, deux heures et demie; rien de la qualité du charbon, pas de description du foyer. Laissons parler le rapport : « Bien que ces expériences aient été d'une durée insuffisante, et qu'il soit difficile de tirer une conclusion certaine de résultats, en eux-mêmes très-faibles, on voit cependant que l'influence de l'appareil a été très-favorable à une meilleure utilisation du combustible. S'il est, en effet, *facile d'augmenter l'effet utile d'une mauvaise installation, il ne l'est pas à beaucoup près autant, d'améliorer les résultats d'un générateur qui, par lui-même, fournirait une vaporisation suffisante.* »

Digitized by Google

N'est-ce pas là tout le secret des économies fabuleuses revendiquées par la généralité des fumivores? ils sont tous merveilleux quand on choisit habilement le terme de comparaison. Nul doute que le générateur du conservatoire des arts et métiers a un foyer bien proportionné, que son tirage est en harmonie avec la qualité et la quantité de charbon qu'il porte et consume dans un temps donné; qu'enfin, surveillé par des ingénieurs experts, il est bien conduit. Qu'en résulte-t-il? Il l'emporte sur le fumivore à vapeur.

La seconde série d'expériences a, du reste, montré que l'emploi de ce fumivore exige la réduction des orifices d'admission d'air, si l'on ne veut introduire dans le foyer un excès nuisible à la bonne utilisation du combustible.

Les deux séries suivantes ont eu pour but d'observer les effets des réductions de passage de l'air, soit par le cendrier, soit même par la porte laissée plus ou moins entr'ouverte, ou munie de jalousies. Elles sont, au générateur de l'atelier de M. Thierry, à l'avantage de l'appareil. « Il importe de faire remarquer que la plus grande vaporisation de $7^k,66$ par kilogramme de combustible correspond au cas où les orifices d'introduction de l'air sont réduits au minimum, et c'est là un des points dont la pratique doit se préoccuper pour obtenir de ce procédé tous les avantages économiques qu'ils peuvent fournir. »

Quant à la quatrième série d'expériences faites au Conservatoire, c'est à première vue un nouveau triomphe pour le système fumivore : l'effet utile est majoré dans le rapport de $5^k,47$ à $5^k,86$ d'eau vaporisée par kilogramme de combustible. « Mais il est nécessaire de faire observer que les feux ont toujours été maintenus très-bas, et que par conséquent, les ouvertures du cendrier laissaient passer, lors du non-fonctionnement de l'appareil, une quantité d'air sans doute trop considérable! » Le succès économique paraît dû ici à ce que le foyer ordinaire a été soustrait à sa marche normale par manque ou par excès d'air.

« A part l'expérience du 21 juin, dans laquelle *la fumée s'est maintenue pendant presque tout le temps*, le fumivore est

Digitized by Google

efficace, etc. » A quoi tient donc cette inefficacité du 21 juin? Il est vraiment fâcheux que les rapporteurs n'aient pas cherché à se rendre compte de cette exception : il est vrai que la durée de chaque expérience n'a été au plus que deux heures trente minutes, et cela suffirait pour nous rendre très-circonspect à l'égard des résultats, fussent-ils défavorables à l'invention.

§ 26. Passons aux expériences de Cherbourg, les seules mentionnées presque entièrement au prospectus. Ces essais ont duré chacun environ six heures. Le rapport nous apprend que la largeur de la grille, composée de treize barreaux, est de $1^m,180$, que l'écartement des barreaux est de 14 millimètres. Ainsi l'ensemble des jours occupe une largeur totale de $13 \times 14 = 182$ millimètres; la surface pleine a donc une largeur de $1,180 - 0,182 = 0,998$, et chaque barreau a l'énorme épaisseur de 76 à 77 millimètres! On a employé la houille de Newcastle très-fumeuse; l'économie a été trouvée de 13 pour 100. « Si ce résultat, disent les rapporteurs, était vérifié sur d'autres appareils (foyers), on devrait conclure assurément que l'appareil fumivore de M. Thierry permet de réaliser une économie notable. »

Ce que chacun peut voir à l'Exposition est à peu près l'image de ce que l'on rapporte de Cherbourg, savoir : une grille formée de barreaux énormes, fumée abondante quand le chauffeur le désire, même sans qu'il soit besoin d'une charge récente; disparition instantanée de la fumée noire par le jeu du souffleur. Quant à l'effet utile, les cendres noires et riches montraient que l'on se préoccupait plus de la combustion de la fumée que du charbon même, de sorte que nous croyons, comme les honorables rapporteurs de la Société d'encouragement : « Qu'en se plaçant strictement au point de vue d'une appréciation générale, et sans se prononcer d'une manière plus affirmative que les faits eux-mêmes sur la question d'économie, on peut affirmer en toute sûreté que les industriels qui l'emploieraient seraient assurés tout au moins de ne pas dépenser plus de combustible, et qu'ils auraient la certitude de voir disparaître complétement tous

Digitized by Google

les inconvénients de la fumée.» C'est le jugement de M. Combes sur le fumivore Chodzko.

§ 27. Comme tous ses confrères, l'appareil à injection de vapeur a été l'objet d'expériences dans l'Alsace, à Dornach, en 1858, sur une chaudière à bouilleurs. Les résultats n'ont point été favorables quant à l'économie; la combustion de la fumée était satisfaisante. Cette analyse suffit, nous le pensons du moins, pour expliquer l'absence de garantie des inventeurs, à l'égard de l'économie du combustible; et nous terminons ce qui le concerne, en le renvoyant aux foyers de Wesserling.

Il en est probablement ainsi de l'appareil Turk, dont l'exposition consiste en injecteurs et en insufflateurs de vapeur et d'air. L'introduction de l'air additionnel pour brûler les fumées est accompagnée de tourbillons qui favorisent le mélange des gaz tant combustibles que comburants, et cela au moyen d'un jet de vapeur annulaire qui entraîne l'air par sa circonférence extérieure, ainsi que par sa circonférence intérieure à travers un petit tuyau : le mélange d'air et de vapeur ainsi formé est épanoui horizontalement au moyen d'une tuyère aplatie. On emploie trois insufflateurs pour brûler 100 kilogrammes de houille par heure sur les grilles ordinaires.

§ 28. En résumé, l'absorption de la fumée, surtout dans les villes, est une nécessité. Plusieurs dispositions permettent de la réaliser, mais l'habileté et l'attention du chauffeur sont toujours les éléments les plus indispensables de la fumivorité.

Quant à l'économie, il est de toute évidence que ces phrases stéréotypées dans les prospectus, par lesquelles on promet des bénéfices flottants et variables de tant pour 100 n'ont aucune signification, aucune valeur. Lorsqu'il apparaîtra un système dont l'auteur affirmera une vaporisation déterminée à l'aide d'un poids donné de combustible, d'une surface de chauffe bien définie, et prouvera son affirmation d'une *façon constante,* celui-là seul mettra le public en possession d'un renseignement susceptible de contrôle.

Digitized by Google

§ 29. En présence de tous les faits que nous avons cités, de tous les témoignages émanant d'hommes distingués, rompus à l'art de l'expérimentation, il est bien permis de n'accueillir qu'avec froideur les brillantes promesses étalées dans les prospectus des foyers fumivores. Cela étant, faut-il renoncer à résoudre la difficulté? La question économique doit-elle être classée au nombre de ces problèmes redoutables sur lesquels s'épuiseront toujours des écrivains et des inventeurs plus redoutables encore.

Non, s'il est vrai qu'une solution parfaite n'est point à notre portée, une solution très-satisfaisante n'est pas impossible. Il suffit d'imiter la vaillante phalange des industriels de l'Alsace : favoriser, encourager et *surtout diriger* l'instruction professionnelle de l'ouvrier.

On ne saurait trop le répéter : le chauffeur doit être le fumivore et l'économe par excellence; sa tempérance, son activité, son intelligence professionnelle, son éducation enfin doivent être le grand préservatif des plus graves accidents.

Oui, instruisons l'ouvrier, ne l'abandonnons pas à l'ignorance; ne laissons pas son cerveau vide exposé à l'envahissement d'idées incohérentes qui finissent par l'enivrer au détriment de sa moralité, de son bien-être, au grand détriment du bien-être social. L'élévation morale et intellectuelle de l'ouvrier-chauffeur et une juste récompense de ses soins sont les moyens de résoudre le double problème posé au commencement (§ 7) de ce chapitre (1).

III

§ 30. L'emploi des chaudières à vapeur est soumis à des conditions de sécurité qui ne sont pas moins importantes que celles de l'hygiène; les explosions sont des accidents heureusement très-rares : tout terribles qu'ils sont, l'industriel et l'ouvrier en ont vraiment peu de soucis. C'est que

(1) Voir *Catéchisme des chauffeurs*, publié par l'Association des ingénieurs de l'École de Liége.

Digitized by Google

nous vivons tous auprès d'un ennemi familier, parfaitement connu, mais toujours oublié, sans lequel nous ne savons nous mouvoir : le mécanicien ne songe pas plus aux accidents de son métier que le mineur aux surprises des explorations souterraines, que le marin aux émeutes de l'Océan, que le soldat aux fatalités du combat, que le savant ou l'artiste à la multitude de maux qu'engendre la passion du travail intellectuel.

Mais qu'à proximité d'une famille sédentaire on vienne installer une machine à vapeur (une pompe à feu!), ou que cette famille apprenne l'existence d'une mine à 300 mètres de profondeur sous ses pieds, l'esprit des volcans ne lui laissera plus aucun repos; c'est ce qui a lieu surtout dans les localités où l'industrie n'est pas la condition vitale. Quoi qu'il en soit, nous n'avons pas le droit de considérer ces craintes comme non avenues, et s'il existe un procédé, un seul, qui soit à l'abri de cette éventualité effrayante, l'industriel doit à ses voisins de le mettre en usage. A défaut d'un tel procédé, sanctionné par les lumières de la science et de l'expérience, tout industriel se doit à lui-même, à son personnel, à ses voisins de ne négliger aucun soin de nature à éviter l'accident; loin de l'oublier, comme on le fait trop souvent, il devrait l'avoir toujours en vue et exercer sur son appareil une surveillance incessante. Ici encore la moralité et la sagacité professionnelle du chauffeur constituent la plus haute des garanties : placer le métier de chauffeur à un rang plus élevé dans la hiérarchie du travail, n'admettre à ce rang que l'ouvrier reconnu capable, mettre son salaire au niveau des qualités qui sont exigées de lui et de la responsabilité qui lui incombe, voilà la vraie sauvegarde des personnes et des biens, la direction économique par excellence.

Les temps ne sont pas loin où le génie industriel pourra enregistrer cette conquête intellectuelle et morale : en attendant, certains inventeurs s'évertuent à remettre aux engins mêmes le soin de préserver la vie des hommes. Si les nombreux foyers fumivores qui se disputent la gloire et le profit de la solution économique sont encore loin du succès réel, en revanche les œuvres dirigées en faveur de l'huma-

Digitized by Google

nité paraissent toucher au but et bien près de mériter leur couronnement.

§ 31. Examinons donc cette question : *Si toute chaudière est explosible, en est-il au moins dont l'explosion est inoffensive?*

L'exposition du Champ de Mars offre plusieurs chaudières dites *de sûreté :* dans le secteur anglais, à côté des appareils de M. Galloway se trouve le système de MM. J. et F. Horward, de Londres ; en France, on trouve le générateur beaucoup plus connu de M. Belleville, de Paris.

§ 32. Le système de MM. Howard consiste dans un ensemble de tubes verticaux en fer forgé, disposés dans un fourneau de maçonnerie maintenue rigide par des plaques de fonte solidement ancrées entre elles. Les variations du niveau de l'eau comprennent une hauteur d'environ 0m,300 ; elles sont très-rapides et constituent, à ce qu'il semble, le seul indice de la régularité ou de l'irrégularité de l'alimentation.

Des écrans disposés de distance en distance protégent la partie supérieure des tubes contre les coups de feu ; mais la vapeur qui occupe cette partie n'en est pas moins élevée à une température qui la dessèche parfaitement, trop parfaitement peut-être. Cette vapeur est recueillie dans un ou plusieurs tubes horizontaux servant de collecteurs, munis de soupapes de sûreté.

L'eau est constamment en circulation dans chaque tube vertical : à cet effet, celui-ci est partagé en deux compartiments, au moyen d'une cloison cylindrique formée d'un tuyau ouvert par les deux bouts et d'un diamètre moitié moindre, qui part de l'extrémité inférieure et s'arrête presque au niveau de l'eau : celle-ci monte dans l'espace annulaire et redescend par le cylindre central, de sorte que les sels n'ont pas le temps de se déposer et de prendre consistance. Toujours est-il qu'il est nécessaire de faire de fréquents lavages, opération simple d'ailleurs, et suffisante pour mettre les parois à l'abri des coups de feu. En cas de rupture, l'eau et la vapeur se répandent dans le foyer et peuvent l'éteindre ; mais la masse expansive est trop faible pour constituer un danger quelconque. La masse d'eau étant très-divisée

Digitized by Google

s'échauffe et se vaporise facilement, et l'on conçoit que la production de vapeur peut être réglée exactement sur la dépense, de manière à suivre celle-ci, sans avoir besoin de provision pour obtenir une pression régulière. Cependant ce dernier point, la régularité de pression, ne doit pas être, semble-t-il, le caractère de la chaudière Howard; sous ce rapport elle nous paraît représenter plutôt l'enfance de la chaudière Belleville, qu'un progrès définitif dont l'industrie s'est enrichie.

§ 33. M. Belleville est, croyons-nous, un des premiers qui se sont occupés du problème de la sécurité absolue : rendre la chaudière inoffensive sans la priver d'aucune qualité économique, sans augmenter les difficultés de la direction, tel est le but qu'il a poursuivi avec une constance digne du succès. Les autres chercheurs ne se sont guère écartés du chemin qu'il a suivi : de même que M. Howard, M. Belleville ne fait presque pas de réserve de vapeur, la production suit la consommation; celle-ci règle celle-là, en sorte que la quantité de fluide qui peut s'échapper par quelque déchirure est trop faible pour occasionner aucun désastre; en effet le volume est cinq à six fois moindre que celui des chaudières ordinaires à bouilleurs.

Le système Belleville consiste essentiellement dans un serpentin entièrement renfermé dans un fourneau en briques, garni extérieurement de plaques de fonte : les tubes qui composent le serpentin sont en fer forgé de 0m,070 à 0m,080 de diamètre, et stratifiés horizontalement; les couches inférieures seules contiennent de l'eau; les couches supérieures forment la chambre de vapeur. Les volumes d'eau et de vapeur étant petits, la marche du générateur est exposée à des irrégularités très-sensibles : l'auteur y a remédié au moyen d'un réservoir nommé *cylindre-niveau*, destiné à proportionner la quantité d'eau qui pénètre dans le générateur proprement dit, à la quantité consommée à l'état de vapeur.

§ 34. Le système Belleville comporte trois types, savoir :

1° Le générateur de machines fixes (fig. 29, 30, 31);

Digitized by Google

2° Le générateur pour locomobiles et locomotives (fig. 32 à 34 et 35 à 37);

3° Le générateur de marine (fig. 38 à 40).

Quelques détails sont remis à une plus grande échelle dans les figures 41 à 46.

Voici une légende générale s'appliquant aux divers types :

A. *Éléments de tubes générateurs* ou vases communiquants, composés de tubes horizontaux superposés en quinconce, raccordés entre eux par des boîtes et des coudes, et communiquant par leurs extrémités inférieure et supérieure avec des tubes dits *collecteurs*.

B. *Tube-collecteur d'eau* à section carrée ou rectangulaire, dans lequel chaque élément s'alimente.

C. *Tube collecteur* de vapeur, alimenté par chaque élément (fig. 42 et 43).

D. *Tube* placé dans l'intérieur du précédent et se raccordant avec la tubulure de sortie *b* (fig. 43). Il est percé, à la partie supérieure de sa paroi, d'un grand nombre de petits trous par lesquels la vapeur est obligée de se diviser : leur section augmente à mesure qu'ils sont plus éloignés de l'extrémité de sortie, en sorte qu'il s'établit un équilibre dans la production de tous les éléments : on évite ainsi les inégalités de niveau qui ne se rétabliraient que par des oscillations plus ou moins amples des colonnes d'eau, à la suite desquelles auraient lieu des crachements, des perturbations de température, et de tension moléculaire qu'il convient d'éviter.

E. *Double serpentin dessécheur* communiquant d'une part avec la tubulure de sortie de D, et d'autre part avec le cylindre F.

F. *Cylindre épurateur*, sorte de dôme ou réservoir, muni d'une soupape de sûreté, d'une prise de vapeur, d'un purgeur à siphon et d'un bouchon ou trou d'homme.

G et G'. *Boîtes de raccordement* en fonte malléable, avec manchons et bagues pour relier entre eux les tubes horizontaux (fig. 44, 45 et 46).

H. *Bouchons à boulons d'ancrage* pour visiter et nettoyer l'intérieur des tubes (fig. 45 et 46).

Digitized by Google

I. *Entretoises et supports* des tubes composant les éléments.

J. *Cylindre-niveau* muni d'un indicateur de cristal, d'un robinet de vidange, de trous d'homme, de tubulures pour communiquer avec les deux collecteurs (fig. 29, 32, 37, 38, 39 et 41) au moyen des *tuyaux* K *et* L.

M. *Robinet gradué* servant à régler l'alimentation avec une *soupape d'arrêt* N.

O. *Tuyau d'alimentation* communiquant d'une part, avec le robinet M, d'autre part avec la pompe alimentaire. Celle-ci est munie d'une soupape équilibrée de manière à laisser retourner à la bâche ou au réservoir toute l'eau qui serait donnée en trop par la pompe.

P. *Tuyau* de communication de la soupape N au cylindre J.

Q. *Ecrans* dits *brise-flammes*, *Retours* et *obturateurs*, destinés à diviser les gaz, à les diriger de manière à ce qu'ils se répartissent sur tous les points de la chauffe, sans former des courants trop directs du foyer à la cheminée.

R. *Portes* spéciales pour le nettoyage.

S. *Foyer ;* T. *Cendrier* muni d'une porte à crémaillère pour régler l'accès de l'air ou arrêter la combustion.

U. *Registre de la cheminée* mû par un contre-poids, et muni d'un indicateur pour régler l'orifice.

V. *Enveloppes et armatures* en tôles et cornières.

X. *Maçonnerie, brique ordinaire.*

Y. *Maçonnerie, brique réfractaire.*

Z. *Manomètre* mis en communication avec le tuyau K ou avec le cylindre-niveau J.

§ 35. Voici maintenant les légendes spéciales aux trois types séparés :

Type de machines fixes.
(Fig. 29 à 31.)

a. Tuyau plongeur pour purger l'épurateur F.

b. Prise de vapeur communiquant avec la machine.

d. Ecran mobile à courant d'air ayant pour objet d'empêcher le rayonnement de la façade.

Digitized by Google

e. Armature et cloison intermédiaire pour accouplement de deux générateurs.

2° *Type pour locomobiles.*
(Fig. 32 à 34.)

aa. Bâtis de la machine et cylindre à vapeur.
b. Tuyau d'échappement.
c. Soupape régulatrice.
d. Tuyau d'injection au cendrier.
ee. Essieux et leurs cornières.
f. Oreilles pour attacher le brancard.
g. Tôles ou écrans mobiles disposés verticalement pour garantir l'enveloppe intérieure.

2 *bis*. *Type pour locomotives.*
(Fig. 35 à 37.)

a. Boîte à fumée (fig. 10) entourant la cheminée *d*.
b. Tuyau conduisant la vapeur aux machines.
c. Tuyau à valve d'échappement.
d. Cheminée.
e. Tubulure que l'on ouvre pendant l'allumage pour établir un courant d'air.
ff. Régulateur et son levier.
g. Soupape. *h*. Sifflet. *i*. Longerons.

3° *Type de marine.*
(Fig. 38 à 40.)

Le serpentin est divisé en deux parties, dont chacune repose sur un collecteur d'eau B : ces deux parties se réunissent en un seul collecteur C.

a. Soupape d'arrêt mettant le collecteur supérieur en communication avec l'épurateur.
b. Soupape à vapeur.
d. Tuyaux d'échappement des soupapes à vapeur.
e. Embranchement des tuyaux d'échappement.
f. Tuyau de vapeur allant aux machines.

Digitized by Google

g. Tuyau de communication des collecteurs supérieurs de deux générateurs accouplés ayant même niveau.

h. Cloison en tôle et cornière destinées à diviser le courant venant du foyer.

l. Patins sur lesquels reposent les collecteurs inférieurs.

m. Tuyaux réunissant les deux collecteurs inférieurs d'un même générateur.

n. Tuyau de vidange commun pour un groupe.

p. Tuyau mettant en communication les collecteurs inférieurs de deux générateurs accouplés.

q. Écrans mobiles à courant d'air pour arrêter le rayonnement des façades.

Légende spéciale pour les figures :

a. Orifice de sortie de vapeur du tube diviseur D dans le type de marine.

b. Orifice de sortie de vapeur du tube diviseur D dans le type de générateur fixe.

§ 36. Étudions particulièrement le type de machine fixe (fig.29 à 30). Les éléments y sont disposés longitudinalement par rapport à la grille; le collecteur d'eau B est appuyé sur la maçonnerie de la façade (fig. 30).

A l'arrière, un autel en maçonnerie (fig. 30) supporte immédiatement le coude inférieur des éléments, et par l'intermédiaire de celui-ci tous les coudes supérieurs ; une plaque de fonte règne le long de cet autel pour en relier solidement toutes les parties, et pour faciliter le glissement des tubes pendant les dilatations et les contractions. Chaque étage de tubes est soutenu sur l'étage inférieur par l'intermédiaire d'une entretoise; l'écartement des rangées verticales est aussi réglé par des entretoises rectangulaires et à jour pour permettre le ramonage du fourneau ; quant à l'intérieur des tubes, on le nettoie en ouvrant des bouchons à vis H (fig. 29 à 31).

§ 37. Une première tôle Q, dite *brise-flamme*, est disposée vers le centre du fourneau, pour forcer les produits de la combustion à se répartir aussi également que possible sur toute la surface du serpentin.

Digitized by Google

Une autre cloison, dite *retour de flamme* Q, recouvre la partie postérieure du serpentin jusqu'aux deux tiers de sa longueur. Elle laisse libre à l'avant une section suffisante pour le passage des gaz chauds; sa paroi est percée de quelques trous. Cette cloison a été reconnue indispensable, parce que, la combustion étant plus active au fond de la grille qu'à l'avant, la flamme a une tendance très-grande à se porter vers le fond du générateur; on la ramène vers l'avant, pour l'empêcher de se précipiter directement dans la cheminée au détriment du générateur et du serpentin dessécheur D.

Ce dernier organe, placé au-dessus de la cloison ou retour de flamme Q, se compose de deux circulations de tubes entre-croisés; il offre aux gaz une très-grande surface de contact et des carneaux nombreux et suffisants pour leur circulation, tout en les divisant sur un grand nombre de parois. Une troisième tôle directrice Q, placée verticalement, force les gaz à cheminer régulièrement entre les intervalles des tubes dessécheurs et les empêche encore de s'orienter trop promptement vers l'orifice d'entrée de la cheminée U.

§ 38. On conçoit que le système d'assemblage des tubes permet d'enlever les dépôts séléniteux avant qu'ils soient durcis; l'active circulation qu'éprouve l'eau ne donne pas aux incrustations le temps de se produire. Lors des premiers essais faits sur la corvette de 220 chevaux *la Biche*, les tubes s'engorgèrent tellement, qu'on dut alimenter avec de l'eau distillée; c'est ce qui a obligé l'inventeur à perfectionner ses assemblages, de manière à lutter contre la difficulté en rendant les accès et le nettoyage faciles et prompts : aussi les essais furent-ils repris après quelques années par l'administration de la marine française, et ils eurent pour résultat l'adoption définitive du système en 1860 à l'aviso *l'Argus*, et en 1862 au transport *la Vienne*; et il paraît que depuis lors la marine française continue à en faire usage.

§ 39. M. Gaudry (*Traité élémentaire et pratique de la direction, etc., des machines à vapeur*, 1re édit., t. I, p. 239) cite un fait qui démontre l'innocuité du générateur Belleville en cas

Digitized by Google

d'explosion : il concerne un appareil de 20 chevaux d'une usine à fer de Labriche, près de Paris. Une explosion due à l'excès de vapeur produisit une détonation analogue à celle d'un coup de pistolet : un des tubes du serpentin avait crevé sur une longueur de $0^m,400$, un peu d'eau et de vapeur s'étaient répandues dans le foyer, et voilà tout. On a rajusté un bout de tube en remplacement du tube crevé, réparation très-vite faite.

§ 40. Les qualités qui recommandent ce système sont :

1° La rapidité de la mise en train, puisqu'il n'a fallu que quinze minutes pour faire monter la pression à 12 atmosphères sur la corvette *la Biche* et donner à l'hélice sa vitesse de régime ;

2° La facilité, au moyen du réservoir régulateur, de faire monter ou descendre la pression ou de la maintenir constante, presque à la parole ;

3° Grande diminution de poids et de volume, par la réduction de la surface de chauffe à $0^{mq},75$ et même à $0^{mq},40$ par cheval ;

4° La pureté de la vapeur bien desséchée ;

5° Et enfin l'absence de danger, tout en admettant des pressions très-élevées (1).

Mais ces précieuses qualités ne peuvent faire oublier ces deux questions : L'appareil est-il d'une grande durée ? est-il économique ?

§ 41. Au commencement de ses expériences, M. Belleville le dit lui-même, la destruction rapide des tubes de son générateur constituait une fin de non-recevoir absolue à son introduction dans l'industrie.

Cette détérioration si prompte provenait de la grande irrégularité de l'alimentation ; grâce au système de l'injection continue, tous les tubes inférieurs exposés au rayonnement sont pleins d'eau, et sans cesse traversés et rafraîchis par l'eau la moins chaude ; en sorte que leurs surfaces, étant les plus froides intérieurement et devant absorber le plus de

(1) *Traité* de M. Jules Gaudry, t. I, p. 241.

Digitized by Google

chaleur, sont les plus voisines de la source de chaleur. Au contraire les tuyaux qui ne contiennent que de la vapeur sèche ne sont léchés que par les gaz suffisamment refroidis par leur contact avec les étages inférieurs : il s'ensuit que les surfaces des tubes sont à l'abri de la destruction qui avait lieu lorsque les rangées inférieures étaient remplies tantôt de vapeur sèche, tantôt d'eau froide arrivant brusquement du réservoir ou du puits.

La disposition de la prise de vapeur avait aussi une très-grande influence sur la stabilité du niveau. On conçoit en effet qu'une simple embouchure placée en un point quelconque du collecteur appelât rapidement la vapeur de l'élément générateur le plus voisin et très-peu celle des éléments les plus éloignés : le niveau devant se rétablir à chaque instant dans les vases communiquants, il en résultait des mouvements de niveau d'autant plus brusques que le travail était plus actif, et des crachements très-nuisibles.

L'application du tube diviseur D, dans le collecteur de vapeur, a été sous ce rapport un notable perfectionnement qui a fait disparaître la gênante instabilité des niveaux d'eau, quel que soit le point du collecteur où l'on place désormais la prise de vapeur ; ce tube a permis en outre de maintenir le niveau général beaucoup plus élevé et d'obtenir un plus grand effet utile du foyer. M. Belleville donne à l'ensemble des orifices percés dans la paroi du tube diviseur D une section totale de $0^{mq},0001$ par 4 mètres de surface de chauffe.

§ 42. Le générateur Belleville, que nous avons vu fonctionner depuis cinq années presque jour et nuit à l'imprimerie centrale des chemins de fer Chaix et Ce, à Paris, fournit la vapeur à une excellente machine Farcot, de 15 chevaux, à détente parfaitement réglée, et entretenue dans des conditions ordinaires, mais satisfaisantes. La consommation n'est que d'environ 300 kilogrammes par mois, chaque journée étant d'au moins dix heures, sans compter le tirage de nuit des journaux.

Digitized by Google

D'ailleurs la grande division de la masse d'eau et de la surface de chauffe, la rapidité de la mise en train, la circulation facile de l'eau, constituent un ensemble de circonstances favorables à l'effet utile du combustible. On attribue dans les rapports de la marine impériale un pouvoir de vaporisation de 8 litres d'eau par kilogramme de charbon à la chaudière Belleville.

§ 43. Voici les prix de ce système pour machines fixes, depuis 4 jusqu'à 60 chevaux, avec les dimensions :

Force en chevaux.	4	6	9	12	16	20
Longueur	1m,10	1m,30	1m,30	1m,40	1m,50	1m,60
Largeur	1 ,00	1 ,10	1 ,20	1 ,20	1 ,30	1 ,50
Hauteur	2 ,20	2 ,50	2 ,55	2 ,55	2 ,58	2 ,60
Prix en francs avec garniture. . . .	1 600	2 000	2 800	3 400	4 400	5 200

Force en chevaux.	25	30	40	50	60
Longueur.	1m,65	1m,70	1m,80	1m,90	2m,00
Largeur	1 ,50	1 ,60	1 ,70	1 ,80	1 ,80
Hauteur	2 ,60	2 ,65	2 ,70	2 ,75	2 ,80
Prix en francs avec garniture. . . .	6 000	6 800	8 700	10 500	12 500

Le bâtiment *la Biche*, de 220 chevaux, avait quatre chaudières Belleville, offrant ensemble 96 mètres carrés de surface de chauffe. Leur hauteur était 2m,900 ; leur largeur, 2m,500; et leur longueur, 1m,500 ; le poids par cheval avec accessoires, 100 kilogrammes : total, 22 tonnes (1).

§ 44. Pour régulariser la pression, il faut régulariser l'allure du foyer et la rendre indépendante des influences perturbatrices qui président à sa marche ; à cet effet, M. Belleville rend le registre solidaire de la pression, au moyen du régulateur.

Le cylindre niveau J (fig. 29) communique par un tube I (fig. 60, pl. XII) avec l'intérieur d'une grande cuvette A, fermée par un couvercle B, dans lequel se trouve ménagé un col assez long; dans ce col passe la tige C, filetée à

(1) Gaudry, ouvrage cité, p. 241.

Digitized by Google

l'extrémité supérieure et portant un écrou F. Le bas de la tige C est façonné en fourreau pour être guidé par le boulon E, fixé au fond de la cuvette. Un épaulement ménagé au bord extérieur de ce fourreau retient une série de ressorts à disques coniques, joints entre eux par des rondelles de caoutchouc.

Le couple supérieur s'appuie contre le couvercle B de la cuvette, de sorte que l'intérieur communique avec l'atmosphère et en subit la pression ; l'extérieur des disques est soumis à la pression du cylindre niveau, transmise à l'intérieur de la cuvette par le tube I,

L'élasticité des disques établira toujours l'équilibre entre la pression atmosphérique et la pression du générateur : plus celle-ci sera élevée plus les disques seront comprimés, et permettront à la tige de s'élever ; au contraire quand la pression sera faible, le volume des disques se dilatera et forcera la tige à rentrer dans la cuvette, jusqu'à une limite arbitraire fixée par la position de l'écrou F, qui à un moment donné vient buter contre le couvercle.

Imaginons que cette tige, dont les mouvements d'ascension ou de descente sont commandés par la pression de la vapeur, soit en relation avec le registre de la cheminée, au moyen d'un système de leviers ; on conçoit facilement que la diminution de la pression provoquera aussitôt une combustion plus énergique qui la fera remonter, et réciproquement.

La puissance de ce régulateur est proportionnelle à la surface des disques ; l'amplitude possible est proportionnelle à leur nombre. Les figures 60 et 61, pl. XIII, montrent suffisamment l'installation du régulateur Belleville et son action sur le registre U de la cheminée (fig. 30). Pendant le travail, on peut à volonté avancer ou retarder la fermeture du registre, en vissant ou dévissant plus ou moins l'écrou C de la tringle qui s'appuie au-dessus du bout du levier *d*. On règle ainsi la fermeture du registre d'après la pression en vapeur qu'on ne veut pas dépasser en travail.

§ 45. M. Belleville a également adapté au robinet gradué M

Digitized by Google

(fig. 29) un système flotteur qui augmente ou diminue son ouverture suivant l'état du niveau ; et comme le jeu de la pompe est continu, l'alimentation est proportionnée avec une exactitude parfaite.

§ 46. Tel est dans son ensemble, suffisamment décrit, nous l'espérons, pour en faire comprendre le mécanisme, le système de M. Belleville ; nous avons écarté bien des détails importants quant à la marche, quant au succès de l'œuvre, mais encombrants pour un récit destiné seulement à élucider les principes et à les mettre en regard des faits.

Cette chaudière, parvenue aujourd'hui à réaliser un idéal poursuivi depuis plus de quinze années, comme elle diffère de son premier modèle ! Ce serait une histoire intéressante à raconter, émouvante peut-être, à coup sûr d'un exemple utile, que celle des nombreuses formes dont s'est revêtu ce principe : *Ne mettre en œuvre que les masses fluides immédiatement exigées par le travail à fournir.*

Bien d'autres que M. Belleville, et avant lui sans doute, ont poursuivi la même idée ; mais nul autre, que nous sachions, ne l'a poursuivie avec la même ténacité, avec cette ardeur patiente, à travers un tissu de demi-succès, d'espérances avortées, de brevets entés les uns sur les autres, de monceaux de débris. Cette histoire mettrait en lumière l'influence déplorable du système de la protection industrielle qui régissait le commerce de la France avant 1856. Les tubes à gaz que pouvait fournir à M. Belleville l'industrie de son pays n'offraient pas une résistance suffisante pour la confection de ses appareils ; aussitôt que par les nouveaux traités il a pu se procurer des tubes anglais, il a réussi à construire des serpentins générateurs à longue durée. Si donc M. Belleville avait passé en Angleterre avant 1856, affranchi de la protection, il aurait gagné plusieurs années et peut-être une fortune ; son pays aurait perdu un de ses plus courageux chercheurs.

Cette histoire ne convient ni au cadre de ce travail ni à la taille de notre plume ; bornons-nous à la mentionner et ren-

Digitized by Google

voyons le lecteur à l'intéressante notice de M. Paul Dalloz, intitulée : *un Vrai Progrès* (1).

IV

§ 1. Au premier abord, l'objet de cette quatrième partie de notre revue forme à l'Exposition une sorte de chaos dans lequel il paraît assez difficile de discerner un monde soumis à quelque conception logique. Remarquons cependant que la machine à vapeur est appelée aujourd'hui au secours de toute espèce de travail : elle est autant réclamée par l'artisan que par le grand industriel; elle s'applique à des usages nouveaux, à la construction et à l'entretien des routes, au transport de déblais et de matériaux sur des voies non préparées, aux divers travaux ambulants de l'agriculture, des forêts, des carrières, à la manœuvre d'engins tels que les grues fixes ou mobiles, les plates-formes tournantes des stations, etc., etc. Ses applications se multiplient indéfiniment; cette substitution de la force inorganique à la force organique, commandée par la pénurie relative des bras, est-elle due à l'accroissement réel des travaux ou à la diminution absolue des populations ouvrières ? Cette question est du ressort de la statistique économique.

§ 2. Toujours est-il que le développement de l'industrie parisienne éprouve depuis quelques années une gêne considérable, non-seulement à cause de la cherté des locaux, mais aussi de leur instabilité. Pour les embellissements et les améliorations dont la grande cité avait bien besoin, il a fallu beaucoup détruire et beaucoup déplacer, et comme les bouleversements se sont succédé rapidement, beaucoup de personnes ont été condamnées à des délogements répétés. Le travail et les affaires s'accommodent peu de ces perturbations, mais on a dû, bon gré, mal gré, chercher à les rendre le moins onéreuses possible. Voilà pourquoi certaines installations de machines à vapeur portent un caractère provi-

(1) Paris, E. Lacroix, 1866.

Digitized by Google

soire : c'est la raison d'être des petites machines dites *portatives*, adhérentes à des chaudières verticales, contre lesquelles on se heurte à chaque pas à l'Exposition, dans le palais, dans les annexes, activant de petits ateliers spéciaux, comme celui de la taille de diamants et d'autres.

Ces moteurs coûtent peu, s'installent presque sans frais, se déplacent de même ; ils conviennent particulièrement à la classe des industriels nomades, locataires souvent menacés de prochaines mutations ; ils permettent à l'artisan de quitter un local sans avoir à y laisser des constructions de grande valeur, d'en prendre un autre sans être obligés à de nouvelles dépenses. En outre, en appelant la mécanique à son aide, la petite industrie n'offre pour payer l'organisme que des ressources limitées ; il est vrai que l'abaissement du prix d'achat grève les qualités de la machine, que la différence de valeur se paye ensuite jour par jour en consommation, entretien, réparations, etc. Mais qu'importe à l'artisan courageux la lenteur avec laquelle il marche à la fortune, s'il y arrive ou en montre le chemin à ses enfants. La patience n'est-elle pas une partie du génie?

A ce point de vue, certaines nouveautés, telles que les moteurs à gaz, à air chaud, etc., rendent, tout jeunes qu'ils sont, des services sérieux ; comme les autres, le temps les entraînera sous son aile dans la carrière du progrès, et les juges de cabinet qui n'en ont fait connaître que les défauts en seront pour leurs frais de sévérité mal appliquée.

Chaque secteur de l'Exposition, chaque pays présente une machine Lenoir ; elle est exploitée partout avec succès, et il ne nous paraît pas possible d'admettre d'une façon si générale que l'intervention de ce qu'on nomme *la fantaisie*, suffise pour délier les cordons des petites bourses industrielles (1).

§ 3. Il en sera de même des moteurs électriques appliqués

---

(1) Déjà le moteur à gaz de M. Hugon, si peu différent des moteurs à vapeur ordinaires, réalise un grand progrès dans la direction économique.

Digitized by Google

à certains usages : à côté de graves défauts, ils présentent des qualités qui les introduiront dans la vie active.

Cette force motrice coûte cher, mais elle ne tient pas de place ; elle se loge dans le moindre recoin, et qu'exige-t-elle d'entretien ? des soins que l'homme impatient dédaigne et repousse comme trop minutieux, et que l'ouvrière ou la femme de ménage saura lui donner avec aisance et exactitude. Et qui sait si cette familiarité n'engendrera pas quelque procédé simple, ingénieux, pratique, qui fera de la pile un ustensile courant aussi utile qu'une horloge, instrument délicat s'il en fut, et qui se trouve pourtant dans les mains de tout le monde ?

§ 4. Revenons à nos chaudières portatives. Il est évident que la position verticale d'une chaudière n'est pas favorable à la production économique de la vapeur ; si elle a été admise parfois dans de grandes usines et sous de grands volumes, le manque de place justifiait seul cette mesure. Une discussion technique serait superflue à cet égard : nous nous bornons donc à renvoyer au *Traité de l'économie du combustible* de M. Bède. Dans notre pays, nous avons un exemple de semblable installation à Malines, à l'arsenal des chemins de fer de l'État ; deux chaudières verticales sont adaptées de l'atelier des grandes forges (fig. 47, pl. X).

§ 5. Parmi les chaudières verticales de l'Exposition, une des plus simples est celle que M. A. Maulde et Wibart (Paris), intitulent *chaudière inexplosible non tubulaire* et qu'ils construisent aux prix respectifs suivants :

Force en chevaux. .	1	2	3	4
Prix en francs . . .	1 800	2 400	3 000	3 600
Force en chevaux. .	6	8	10	12
Prix en francs . . .	4 800	5 800	6 900	8 000

c'est-à-dire à raison de 500 à 600 francs par cheval ajoutés au prix du moteur de 3 chevaux quand on dépasse cette force.

La chambre d'eau ou le bouilleur se compose d'une espèce

Digitized by Google

de sac ou marmite en tôle B (fig. 48) plongée dans la boîte à feu D ; celle-ci est entourée d'une enveloppe annulaire C remplie d'eau. Enfin la chambre de vapeur A est entièrement séparée de la chauffe, pourvu, comme toujours, que l'on ne néglige pas de maintenir l'eau à un niveau convenable. Le bouilleur communique avec la paroi latérale externe par la tubulure E fermée au moyen d'un couvercle à vis. La porte du foyer F traverse aussi le bouilleur annulaire.

La cheminée H prend latéralement dans la boîte à feu, et traverse le bouilleur annulaire C, de sorte qu'elle n'est point en contact avec la vapeur et n'est point exposée à rougir dans le voisinage de la surface oscillante d'évaporation. Cette disposition excellente, qui diminue les chances d'explosion, justifie en partie le titre donné à ce générateur par MM. Maulde et Wibart ; plusieurs constructeurs l'ont adoptée, et nous avons peine à comprendre pourquoi tant d'autres n'en ont pas fait de cas.

Sous tous les rapports cet appareil paraît un des plus recommandables de son espèce : construction très-simple ; entretien, nettoyage et réparations faciles, sans trop sacrifier l'étendue de la surface de chauffe et la bonne distribution de la chaleur.

La machine verticale est assujettie à un bâti tubulaire G servant d'enveloppe à la chaudière, et posant sur un socle creux S dans lequel circule l'eau d'alimentation, chauffée ainsi par le rayonnement inférieur du foyer.

Le modèle exposé paraît bien soigné, pour autant que les matériaux employés soient de bonne qualité ; la machine est bien proportionnée et toutes les pièces sujettes à visite sont très-accessibles, chose trop rare dans la plupart des autres ; enfin l'ensemble, compacte et léger, paraît promettre un excellent usage.

Depuis 1 jusqu'à 4 chevaux, la détente est fixe ; elle est variable pour les forces supérieures à 4 chevaux. Un changement de marche peut y être adapté pour une faible augmentation de prix.

§ 6. Moins simple que la précédente, la chaudière verti-

Digitized by Google

cale de MM. HERMANN-LACHAPELLE et CH. GLOVER (Paris) a quelques qualités dignes d'être mentionnées.

La boîte à feu est traversée par trois bouilleurs horizontaux, dont nous avons déjà indiqué la construction (fig. 4); en subissant des arrêts et des remous au-dessus du foyer, le mélange des gaz et de l'air se fait plus intimement et favorise la fumivorité. Nous reproduisons fig. 50 l'ensemble de la chaudière et de la boîte à feu, ainsi que de la grille.

La figure 49 représente la machine montée : au lieu d'un bâti cylindrique entourant la chaudière, MM. Hermann-Lachapelle et Glover ont adopté un ensemble de deux pilastres reliés en dessous par un socle creux dans lequel circule et s'échauffe l'eau d'alimentation; ces deux pilastres sont réunis par-dessus au moyen d'une entretoise un peu arquée, servant de support au régulateur.

Dans cette machine, comme dans la précédente, les dilatations de la chaudière et du moteur sont indépendantes.

Le nettoyage de la chaudière et des bouilleurs se fait par des ouvertures suffisamment nombreuses et convenablement disposées.

Les prix de ces machines diffèrent un peu des précédents :

Force en chevaux . .	1	2	3	4	6
Prix en francs. . . .	1 800	2 400	2 950	3 500	4 600
Poids en kilogrammes	775	1 050	1 600	1 960	3 480
Hauteur	1m,280	1m,510	1m,690	1m,850	2m,100
Etendue superficielle.	1mq,00	1mq,20	1mq,30	1mq,40	1mq,70

Force en chevaux . .	8	10	12	15
Prix en francs. . . .	5 800	5 900	8 000	9 500
Poids en kilogrammes	4 500	6 000	7 500	8 500
Hauteur.	2m,400	2m,620	2m,400	2m,620
Etendue superficielle.	1mq,90	2mq,10	1mq,90	2mq,10

Elles sont indiquées par leurs auteurs comme consommant 3 à 4 kilogrammes de charbon et 25 à 30 litres d'eau par cheval et par heure. Pour les forces de 12 et de 15 chevaux, il y a quelques frais de fondations que ne comportent pas les autres : une partie de la chaudière s'enfonce à 1m,10 en

Digitized by Google

contre-bas du sol ; le foyer se trouve dans une excavation. Il est probable que ces dimensions ne sont guère employées ; nous n'en voyons pas trop bien l'avantage, et nous croyons que la limite de 10 chevaux est une bonne mesure qu'il conviendrait de ne pas dépasser.

MM. Hermann et Glover font une spécialité d'installer ces machines avec des pompes verticales sur un même socle. Le modèle très-compacte que nous avons vu dans le palais paraît avoir beaucoup de stabilité et de solidité ; mais pour le service des villes importantes, pour l'irrigation de grandes exploitations agricoles, pour des jeux hydrauliques dans des jardins publics, il nous semble préférable de consacrer un peu plus de place à l'installation d'un bon système de chaudière. Quand il s'agit de forces de 12 à 15 chevaux, il en vaut la peine.

S'il est vrai que l'accouplement des pompes, du réservoir d'air et de la machine à vapeur avec sa chaudière forme un ensemble monumental, qui peut à l'occasion concourir à la décoration des parcs et des châteaux d'eau, il n'en est pas moins vrai qu'il est possible d'obtenir d'aussi beaux effets avec des appareils d'un fonctionnement plus économique.

§ 7. La chaudière de M. Bréval est aussi à bouilleurs horizontaux, mais au nombre de deux seulement, et d'un plus grand diamètre. Les figures 51 et 52 représentent un appareil de 12 chevaux. Voici les principales dimensions :

Hauteur totale de la chaudière, y compris les pieds.	2m ,400
Diamètre total de la chaudière	1 ,350
Hauteur de la boîte à feu	1 ,840
Diamètre de la boîte à feu	1 ,160
— de chaque bouilleur horizontal	0 ,600
— de la cheminée.	0 ,300
Hauteur de la cheminée	8 ,000
Surface de chauffe totale.	10mq,000
Volume d'eau.	1mc,391
— de vapeur.	0m ,463
Pression	5 atm.

La consommation est indiquée à 3 kilogrammes et demi de charbon par heure et par cheval.

Digitized by Google

La cheminée traverse la chambre de vapeur; nous en avons dit les inconvénients.

La machine est immédiatement adhérente à la chaudière. Cette simplification en modifie un peu le prix comparativement aux autres; quatre pieds sont rivés à la tôle et le tout repose sur une pierre scellée dans le sol, avec une saillie de 0m,100. Elle est munie d'un régulateur depuis 1 jusqu'à 15 chevaux; à partir de 12 chevaux, chaque machine est à deux cylindres.

Force en chevaux . . .	1	2	3	4	6
Prix en francs	1 800	2 400	2 800	3 500	4 500
Poids en kilogrammes. .	1 000	1 300	1 500	1 500	1 750

Force en chevaux. . . .	8	10	12	15
Prix en francs.	5 600	6 800	8 000	9 000
Poids en kilogrammes. .	4 000	4 650	5 300	6 000

Les différences de prix avec celles de MM. Hermann et Glover sont peu importantes dans les forces de 8 à 12 chevaux; au contraire, les poids diffèrent beaucoup à partir de la force de 3 chevaux. Ces deux circonstances réunies peuvent leur donner l'avantage dans certains cas, par exemple, si l'on veut, comme le dit M. Bréval dans son prospectus, descendre ces moteurs dans des caves ou les monter aux étages. Il est probable cependant qu'aux étages n'ont accès que les plus petites forces, et alors les moteurs Bréval sont plus lourds que ceux de Hermann et Glover.

§ 8. Nous devons signaler aussi une jolie machine de 8 chevaux de MM. Lelbu et Clavier (Paris) dans laquelle un socle porte le moteur et la chaudière complétement indépendants l'un de l'autre ; nous regrettons que ces messieurs n'aient pas cru devoir répondre à la demande que nous leur avons adressée : nous aurions volontiers donné à nos lecteurs une idée complète de cet appareil. Faute de renseignements précis, nous devons nous contenter de décrire cette chaudière suivant le souvenir qui nous est resté d'un dessin qui ne nous a été montré que furtivement (fig. 53). Cette chaudière diffère complétement des autres. La boîte à feu A

Digitized by Google

est traversée par des tubes verticaux en laiton *aaa*, aboutissant en dessous à une chambre B remplie d'eau; au-dessus est le voisinage du niveau de l'eau. Cette chambre est accessible du dehors au moyen d'autoclaves; par la partie supérieure les tubes peuvent être démasqués et nettoyés, et les saletés recueillies et enlevées par la chambre B. La cheminée est latérale.

§ 9. M. Aubert (Paris) a adopté pour sa chaudière verticale le système tubulaire pur et simple (fig 54) avec l'ajustement Berendorff. La figure est une coupe du foyer et de la caisse à eau dont on a enlevé les tubes pour le lavage des incrustations; un large trou d'homme donne accès à l'intérieur; la cheminée sert très-simplement de fermeture à la boîte à fumée. Voici les prix de ce constructeur :

Force en chevaux . . .	1	2	3	4
Prix en francs	1 800	2 400	2 900	3 500
Poids en kilogrammes. .	650	1 250	1 450	1 650
Force en chevaux. . . .	6	8	10	12
Prix en francs	4 600	5 700	7 000	8 000
Poids en kilogrammes. .	2 600	3 600	4 200	5 100

§ 10. La petite machine verticale de M. Weber (Berlin) est aussi tubulaire; le faisceau est suspendu au ciel de la boîte à feu et plonge librement dans le foyer, c'est le système Field dont nous parlerons plus loin (§ 12). Le palais en contient beaucoup d'autres venant de Darmstadt, de Barcelone, de Porto, de Bruxelles (Enthoven et Cᵉ). Un très-grand nombre ne chauffent pas l'eau d'alimentation, lacune facile à combler; toutes ont le défaut de grilles à barreaux très-épais.

Outre la maison Enthoven et Cᵉ de Bruxelles, plusieurs constructeurs belges commencent à construire ce genre de moteurs; je citerai à Liége M. Munaut, qui en expédie beaucoup outre mer, et M. Tilkin-Mention, chez qui j'en ai vu un bon modèle en exécution (1).

(1) M. Munaut a publié les prix suivants :

Force en chevaux.	1	2	3	4	5
Prix en francs . .	1700	2000	2300	2600	3000

Digitized by Google

§ 11. En définitive, le grand nombre de machines à chaudières verticales témoigne de leur raison d'être : leurs applications sont nombreuses. Elles ne sont pas seulement mises en usage pour les installations fixes; mais, placées sur des trains, solidairement avec certains outils, elles deviennent locomobiles. L'Exposition offre beaucoup de locomotives routières françaises et anglaises, de grues mobiles, de charrues à vapeur, presque toutes anglaises, sinon toutes; de scieries locomobiles complètes. Des grues fixes sont aussi munies de ce système de générateurs, des machines à enfoncer les pilotis, etc. Enfin une plaque tournante de grande dimension porte son moteur à chaudière verticale, avec une sorte de parapluie en fer ou en zinc pour garantir tant bien que mal son mécanisme contre les intempéries.

§ 12. C'est, je crois, par l'important service des pompes à incendie que la chaudière verticale à foyer intérieur a débuté ; elle continue à y remplir ses utiles fonctions, surtout en Angleterre et aux États-Unis; elle est encore peu répandue en France pour cet usage, et M. Flaud (Paris) est le seul constructeur français qui en ait exposé un modèle.

La chaudière verticale multitubulaire exige peu de temps pour sa mise en train; quelques minutes après son arrivée sur le champ du sinistre, elle fonctionne : celle de Field, par exemple, peut lancer l'eau à plus de 60 mètres de hauteur un demi-quart d'heure après son installation vis-à-vis de l'édifice menacé.

La disposition de la chaudière Field, quoique déjà connue depuis longtemps, est peu commune : qu'on s'imagine une boîte à feu ordinaire dont le ciel plat ou peu bombé est percé d'un grand nombre d'ouvertures livrant passage à autant de tubes de $0^{m},055$ environ de diamètre extérieur. Ces tubes sont suspendus dans le foyer et fermés à leur base; ils se remplissent d'eau et sont plongés dans les flammes du foyer. D'autres tubes ouverts des deux bouts, ayant $0^{m},025$ de diamètre, un peu évasés au-dessus, sont placés dans les premiers concentriquement avec eux, laissant un peu de distance entre leurs extrémités inférieures et le fond de leur

Digitized by Google

enveloppe, et s'élevant un peu plus que celle-ci, sans toutefois émerger de la nappe d'eau.

L'eau contenue dans l'espace annulaire, étant plus immédiatement chauffée, tend à s'élever; l'eau contenue dans le tube central descend au contraire, et il s'établit ainsi un courant rapide et continu, qui donne une grande activité à la vaporisation, en même temps qu'il empêche les incrustations. On attribue à cet appareil un pouvoir vaporisateur de 9l,3 d'eau par kilogramme de combustible (1).

§ 13. On serait mal inspiré d'apporter une grande sévérité dans le jugement de ces divers appareils; on cherche ordinairement la compacité, et beaucoup de constructeurs sacrifient à la simplicité, au bon marché, un certain ensemble de convenances qui seraient ailleurs considérées comme indispensables; la visite des tiroirs de distribution, par exemple, est la plupart du temps difficile. Il est très-peu de machines fixes, qui n'ont pas ce grave défaut; celles que nous avons reproduites dans nos planches en sont exemptes.

Quant au fini des pièces qui composent ces intéressants engins, il dépend beaucoup de leur destination. Si elles ont a faire un service en plein air, à la poussière, comme la série que nous venons de citer, les pièces sont généralement laissées brutes; elles ont l'aspect robuste; elles témoignent même assez peu de soins de la part du fondeur et du forgeron, et leur peinture paraît aussi grossière. Elles répondent ainsi à leur destination : ce sont des souffre-douleurs, il ne leur faut que la force de supporter toutes les vicissitudes auxquelles elles sont exposées, même la chance d'être malmenées et surmenées. Telles sont les machines que nous avons nommées en dernier lieu, tant françaises qu'anglaises ou américaines.

Mais les autres ont toutes plus ou moins de prétentions à une certaine coquetterie. Pourquoi cette tendance au luxe, qui coûte du temps et de la main-d'œuvre, puisqu'on cher-

(1) Le même système est appliqué à des forces de 25, de 50 et même de 80 chevaux.

Digitized by Google

che d'ailleurs le bon marché dans l'intérêt de la petite industrie ? Pourquoi polir inutilement les bielles, les tringles, les couvercles des cylindres, les écrous, etc., et imposer par la suite une dépense de temps et de main-d'œuvre à l'entretien de ces surfaces miroitantes ?

Remarquons d'abord que le mécanicien chauffeur a beaucoup de temps de reste, même en exécutant très-bien son travail, et qu'il peut sans gêne et sans négligence pour autre chose caresser de temps en temps d'un chiffon gras les surfaces blanches et en entretenir la propreté, sans obliger le fabricant à un surcroît de dépense. Il est très-utile que l'ouvrier soit sollicité par l'élégance de la machine à lui donner constamment des soins, dont le résultat flatte son amour-propre : c'est une passion sans danger, si cela devient une passion, et elle est cousine germaine de l'ordre, de l'assiduité. Un mécanicien qui, dans les intervalles où son feu et sa chaudière ne le réclament pas, n'a rien à faire est bien près de chercher des distractions et de négliger le service essentiel.

D'un autre côté, il y a quelque chose de repoussant à voir sur les pièces brutes d'un appareil mécanique s'épancher les huiles mélangées de poussière ; quelle habitude d'ordre et de sion pourra suggérer à l'ouvrier la vue de son outil ? On sait que l'eau chaude et l'éponge à la fin de la journée auront raison de ces tristes appendices, mais alors où est le profit ? Le travail après la journée, n'est-ce pas un temps supplémentaire à payer ? Croit-on d'ailleurs que les malpropretés accumulées seront enlevées à fond lorsqu'il faut prolonger la journée pour faire ces opérations ?

§ 14. Le constructeur a aussi intérêt à connaître intimement la qualité des pièces qu'il emploie : le polissage est un moyen de sonder la matière, de découvrir des pailles dans es pièces forgées, les soufflures dans les moulages, et de rebuter en temps utile des organes importants qui sans cela eussent été mis en œuvre, au grand détriment et du vendeur et de l'acheteur. Ce n'est donc pas à tort que les Anglais, les Français, les Belges, etc., tournent ou rabotent leurs bielles,

Digitized by Google

leurs tringles, les couvercles, les moulures des colonnes, etc., etc. Il y a là une utilité très-réelle qu'il ne faut pas dédaigner et sur laquelle les ingénieurs des Etats-Unis reviendront peut-être quand leurs douanes n'arrêteront plus à leurs frontières les mécaniques européennes. En attendant, l'Angleterre, la Belgique, et même la France et l'Allemagne, malgré l'apparence inutile de certains soins, livrent leurs machines et leurs outils à l'Amérique du Sud, au Mexique, à la Havane, etc., à des prix qui déroutent le savoir-faire des Yankees, très-habiles cependant, il faut bien le reconnaître, surtout à engouer certains esprits du vieux monde.

§ 15. Qu'on laisse donc aussi primitives que possible les machines qui fonctionnent sous des abris mauvais, continuellement exposées à la poussière, comme les machines de laminoirs, les machines d'extraction, etc. Là le mécanicien a son attention sans cesse tenue en éveil par le travail de la bure ou du train, etc. : dans les courts moments où il paraît libre, la visite et le graissage des pièces à frottement l'absorbent aussi; et comme ces sortes de moteurs sont soumis à de grandes fatigues, les arrêts du dimanche sont encore consacrés à des vérifications intérieures, à des réparations qui ont le pas sur les soins extérieurs. Le lavage, même peu parfait, des pièces leur donne toujours un degré de propreté notablement supérieure à l'état du milieu ambiant : en effet dans une houillère, dans une forge, tout est noir; dans un moulin, tout est blanc, même après les grands balayages; la propreté de ces sortes d'usines n'est que relative. Mais que de pièces brutes, d'un aspect mâle, largement calculées, ont donné lieu à des mécomptes dès les premières mises en train, faute d'avoir fait contrôler par le tour ou la raboteuse le travail des forges et des fonderies! Les constructeurs les plus soigneux y sont quelquefois pris.

Il va de soi que dans ces considérations nous ne nous occupons pas des toilettes tapageuses comme il en existe quelques-unes, au Champ de Mars, même dans le compartiment américain ; ces appareils de boudoir sont du plus mauvais goût, fatiguent la vue et la détournent au détriment de la construc-

Digitized by Google

tion qui sous d'autres rapports mériterait quelque attention. Parlez-moi du moteur HOUGUET et TESTON, voilà un modèle de beauté mécanique.

§ 16. Revenons à nos machines *portatives* ou *demi-fixes*, comme on les appelle souvent. Un assez grand nombre d'établissements sont munis maintenant de moteurs montés sur des chaudières horizontales, formant un ensemble ayant la forme d'une locomobile dépourvue de son chariot. Nous avons dit ailleurs (1) quels sont les motifs de cette combinaison, les avantages qu'on y recherche et qu'on peut y trouver ; mais nous avons fait une réserve commandée par la difficulté de débarrasser les tubes de leurs incrustations, surtout dans les petites chaudières. Nous avons signalé le vaporisateur amovible de MM. Thomas et Laurens comme une des inventions qui peuvent jusqu'à un certain point écarter ce grave inconvénient. Nous avons fait remarquer aussi que le système tubulaire ne nous paraissait pas indispensable aux petites chaudières fixes auxquelles on voudrait faire adhérer le moteur. « Pourquoi, disions-nous, une chaudière ordinaire, soit à foyer et carneaux intérieurs, soit à foyer extérieur et emmuraillée, ne servirait-elle pas de support et de fondation au mécanisme moteur, afin de supprimer non-seulement des fondations spéciales pour celui-ci, mais surtout les longues conduites de vapeur et d'eau par lesquelles se perd tant de chaleur ? »

Une des annexes du palais du Champ de Mars renferme une chaudière à un seul foyer intérieur, carneau simple, avec retour des gaz par-dessous, supportant à la manière des locomobiles une machine à vapeur d'une dizaine de chevaux. Cette construction, due à M. LOUIS JÆGER (de Borcette, près Aix-la-Chapelle), réunit une grande simplicité à des avantages qui paraissent incontestables.

§ 17. Cependant la restriction que nous avons faite autrefois, et que nous venons de rappeler, a entièrement perdu sa

(1) *Traité du chauffage et de la conduite des machines.* Paris et Liége, Noblet, éditeur.

Digitized by Google

valeur, grâce au système d'ajustement des tubes amovibles, conçu par MM. Berendorff et Langlois. En effet, il n'y a plus aucune raison pour se priver des excellentes qualités des chaudières de Fairbairn, en les faisant servir d'assises aux moteurs, comme le fait depuis longtemps M. Emile Bède (maison Houget et Teston, de Verviers). Ce savant constructeur n'a pas hésité à appliquer cette disposition à des machines à grande détente et condensation à deux cylindres conjugués enfermés dans le dôme, de 30 chevaux et même davantage; il compose ainsi une force motrice qui peut être citée comme un modèle, tant pour la beauté et le caractère monumental que pour les qualités économiques.

Il est fâcheux que les arrangements du Champ de Mars aient obligé M. Bède à tenir le générateur séparé de la machine et à priver le concours international d'une des plus heureuses dispositions que l'on puisse y rencontrer.

§ 18. MM. Thomas et Laurens, qui depuis longtemps aussi ont introduit dans les ateliers la chaudière tubulaire de leur système avec moteur adhérent, ont exposé une machine de 20 chevaux à *détente double* et à condensation facultative. La pompe à air est à double effet et constamment noyée dans sa boîte d'évacuation, qui a un plus grand volume que le sien. La pompe alimentaire est à double voie, pour marcher au besoin à l'eau froide, quand l'échappement de la vapeur est libre. L'eau d'alimentation est chauffée dans un dôme à serpentin, au moyen de la décharge, entre le cylindre et le condenseur. Cette machine est munie d'une détente ordinaire produite par le tiroir, et d'une seconde détente produite par la valve du régulateur. Lorsqu'une partie des résistances sont momentanément suspendues, l'accélération de vitesse fait fermer complétement la valve à un moment donné de la course, et l'expansion commence dans la chapelle. En toute autre circonstance, le régulateur remplit l'office habituel.

Les coussinets des paliers sont en quatre parties, de manière à pouvoir donner un rappel régulier et conserver intacte la position du centre de l'arbre moteur; un coup de

Digitized by Google

lime aux faces de contact des segments, ou l'enlèvement d'une lame de zinc ou de carton qui les séparait, est la simple opération à faire lorsque l'usure a amené un peu de jeu aux tourillons.

Si l'amovibilité du vaporisateur n'offre que des avantages illusoires, la disposition du générateur en présente un très-sérieux : on attribue à cette machine l'incroyable consommation courante de 1 kilogramme de houille seulement par cheval *effectif* et par heure. S'il en est ainsi, on ne peut s'étonner de la grande vogue dont elle jouit parmi les constructeurs de locomobiles et même de machines fixes, adhérentes ou non à la chaudière; l'Exposition en contient plusieurs.

§ 19. Il y a bien plutôt lieu de s'étonner que quelques personnes cherchent encore l'économie dans les fumivores. Et tout bien examiné, la chaudière Thomas et Laurens, celle de Fairbairn, celle de Chevalier, celle de Nillus (du Havre) (1) et quelques autres n'offrent-elles pas en réalité une disposition favorable à l'absorption des fumées, à la combinaison complète du gaz avec de l'oxygène disponible dans le tirage. Elles ont toutes un grand développement de surface, et toutes possèdent une grande chambre à combustion dans laquelle les gaz cheminent avec une vitesse modérée qui leur laisse le temps de se mélanger intimement et de se combiner. Celle de M. Chevalier a en outre une prise de vapeur située à une grande distance de la nappe d'évaporation : $1^{m},750$. Aussi prétend-on qu'il évapore plus de 9 kilogrammes d'eau par kilogramme de charbon tout venant de Mons. Toutefois nous n'accueillons ce rendement qu'avec la réserve que nous commande le défaut de consécration suffisante. M. Farcot annonce une consommation de 2 kilogrammes de houille par cheval et par heure; ce chiffre est déjà très-beau, surtout s'il se réalise en dehors des essais spéciaux, comme on le prétend ; mais c'est un point peu facile à contrôler, si ce

(1) Armengaud, *Publication industrielle*, t. XVI.

Digitized by Google

n'est dans des applications spéciales, comme l'élévation de l'eau par exemple.

§ 20. Les *locomobiles*, c'est-à-dire les machines à vapeur placées sur des trains roulants, sont encore plus nombreuses que les précédentes.

L'Angleterre est représentée au Champ de Mars par une vingtaine de constructeurs au moins; la France, par une quarantaine, dont quelques-uns se sont multipliés au point que M. Calla en possède sept qui fonctionnent et M. Gerard (de Vierzon) sept également, mais qui se contentent de figurer; la Belgique et l'Allemagne, etc., par une douzaine au plus. Nous ne parlons pas de ce qui est relégué à Billancourt.

Nous avons cru devoir consacrer un article spécial à la jolie batteuse à vapeur locomobile sur deux roues de M. Renaud (Nantes).

Nous retrouvons à l'Exposition universelle d'anciennes connaissances de l'Angleterre, les Turner, les Ransomes, les Ashby, les Clayton, habitués à venir sur le continent, et notamment en Belgique, disputer les médailles des concours agricoles aux Cail et C°, aux Fauvel, aux Tilkin-Mention, etc. On y trouve aussi les modèles moins familiers chez nous des Lotz, des Rouffet, des Chevalier, des Calla, des Bréval, des Durenne, des Artige, etc., etc., présentant en définitive très-peu de différences intéressantes.

§ 21. Munie d'une chaudière d'un petit volume, et par conséquent extrêmement sensible, d'un foyer et d'une cheminée également restreints et d'une faible énergie; exposée à un rayonnement extérieur considérable, souvent négligée, abandonnée à des mains inhabiles, cette machine doit, dans sa construction toujours simple et robuste, rechercher toutes les compensations possibles aux inconvénients qui la menacent. La position du cylindre sur la chaudière, voire dans le dôme même, est un des remèdes aux pertes de chaleur permanentes dont nous avons parlé; pas de tuyaux de conduite exposés au rayonnement, mais au contraire une enveloppe de vapeur à température constante, qui maintient celle du cylindre, ce sont des conditions éminemment favorables

Digitized by Google

qui ont contribué à faire entrer cette disposition dans les services fixes. D'un autre côté il importe plus que jamais de n'alimenter qu'à l'eau chaude cette chaudière si facile à refroidir. Plusieurs constructeurs, ayant égard à ces importantes considérations, ont fait des efforts pour opposer aux mauvaises conditions essentielles de l'appareil un ensemble complet d'antidotes ; nous ne comprenons pas pourquoi d'autres semblent au contraire avoir complétement dédaigné ce point de vue.

§ 22. M. Durenne par exemple, qui a employé la chaudière Cail à foyer circulaire dans une boîte cylindrique pour une grosse locomobile de 25 chevaux, lance directement la décharge de la vapeur dans la cheminée et n'a nullement songé au chauffage de l'eau d'alimentation ; il a prodigué les tuyaux de conduite à l'extérieur de sa locomobile de 6 à 8 chevaux.

§ 23. M. Artige, qui fait passer son tuyau d'alimentation dans le conduit de la décharge et profite de cette chaleur, tient son cylindre à vapeur éloigné du dôme (1), à l'inverse de M. Breval, dont le cylindre est plongé dans le dôme, mais qui alimente à l'eau froide.

§ 24. MM. Ransomes et Sims, d'Ipswich, construisent des machines fixes et des locomobiles à l'usage des campagnes avec garantie d'une consommation qui dépasse peu 3 kilogrammes de houille par heure et par cheval, et n'atteint pas 3 kilogrammes et demi à la pression de 3 atmosphères. Leur boîte à feu varie de volume selon l'emploi de la houille ou du bois ; ils appliquent à volonté un appareil pour le chauffage de l'eau d'alimentation, et la pompe est disposée pour alimenter à volonté à l'eau chaude ou à l'eau froide, au moyen d'un robinet à deux voies. Cette disposition a son utilité.

§ 25. MM. Ruston Proctor et Cᵉ (de Lincoln) jouissent aussi d'une grande réputation pour la construction des outils ruraux. Ils ont établi ce qu'ils nomment *un appareil calorique*

(1) Le guide du piston de cette locomobile est original; toutes les machines de ce constructeur témoignent de l'emploi du tour de préférence à la Shaping, dont le travail est plus coûteux.

Digitized by Google

dans la boîte à fumée pour chauffer l'eau d'alimentation à l'aide des gaz qui s'y disséminent avant de déboucher dans la cheminée. Cet appareil est une espèce de serpentin amovible, composé de plusieurs tubes droits aboutissant à deux boîtes : l'une, du côté de la pompe, reçoit l'eau froide et la distribue dans les tuyaux où elle s'échauffe ; l'autre, du côté de la soupape de délivrance, réunit de nouveau cette eau et la livre à la chaudière. C'est aussi le mode adopté par MM. VARRAL, ELWELL et POULOT de Paris. MM. MARSHALL FILS et Cᵉ (de Gainsborough), ainsi que les deux constructeurs que nous venons de nommer, laissent les cylindres à vapeur en dehors de la chaudière ; une triple enveloppe préserve toute la chaudière des deux derniers contre le rayonnement.

§ 26. Dans la locomobile de MM. HORNSBY et FILS (de Grantham), le cylindre est entièrement plongé dans le dôme du côté du foyer ; c'est la position la plus généralement usitée, pour la facilité du mécanicien ; mais MM. JOHN FOWLER et Cᵉ de Leeds), trouvant une économie à prendre la vapeur un peu éloignée du foyer, a interverti la disposition et placé son dôme vers la cheminée, tandis que l'axe moteur est au-dessus des roues de derrière.

§ 27. En général, les locomobiles anglaises ont le caractère de leur destination, l'aspect rustique et mâle, assurées contre les mauvais traitements qui les attendent. Quelques ajustements paraissent avoir visé à une économie peut-être exagérée au point de vue technique, peut-être indispensable au point de vue commercial, peut-être enfin commandée par des circonstances locales. A partir de la force de 8 à 12 chevaux, elles sont à deux cylindres conjugués ; leur puissance, qui s'étend à 20 chevaux et au delà pour un assez grand nombre, montre qu'elles sont appelées à faire le service de vastes exploitations agricoles, ce que témoignent aussi les affectations spéciales de certains détails organiques. Les foyers sont pour la plupart vastes, mais les grilles grossièrement faites ; les barreaux ont $0^m,03$ à $0^m,035$ d'épaisseur ; cela n'a sans doute aucun inconvénient pour l'usage du bois et des débris végétaux, mais des barreaux

Digitized by Google

plus soignés, plus minces et plus serrés seraient tout aussi pratiques, et s'accommoderaient mieux à la combustion de la houille, de même qu'à la sciure de bois.

Les trains sont ordinairement à roues de bois, pesantes et ne craignant pas la fatigue ; les roues en tôle lenticulaires de la locomobile de Goin nous semblent unir une grande solidité à la légèreté et par là mériter de se propager.

§ 28. Nous aurions voulu ne pas quitter l'exposition anglaise sans revoir un type vraiment extraordinaire de simplicité, nous allions dire de *grossièreté*. M. Ashby (de Stamford, Lincolnshire) s'est attaché à réduire le travail, le poids et le nombre de pièces de sa locomobile, les frais d'entretien et de réparation, aux dernières limites possibles. Il a réussi à faire un modèle absolument rustique, qu'il emploie à faire fonctionner ses machines à battre le grain. Au dernier concours agricole de Liége, le prix d'une machine de 4 chevaux et demi était de 3 425 francs ; il s'est probablement abaissé depuis.

Le cylindre A de cette locomobile n'est pas encaissé dans la vapeur ; il est appliqué sur l'un des flancs de la chaudière (fig. 55), tandis que l'axe moteur BC est tout à fait en avant de l'un des fonds, au-dessus d'une bâche ouverte MN qui contient l'eau d'alimentation, et la pompe immergée. L'alimentation est froide.

L'axe n'est pas coudé : la manivelle est en dehors des paliers, d'un côté ; de l'autre, sont les deux poulies P et *p*, dont la plus grande commande la batterie, la plus petite un moulin portatif. Le guide-crosse E est de la dernière simplicité ; on s'aperçoit à peine s'il existe ou s'il manque, et cependant il existe.

La chaudière porte un petit dôme D avec modérateur en rapport avec le régulateur à force centrifuge, dont l'arbre vertical est mû directement par l'axe moteur BC, à l'aide de deux pignons coniques.

La chaudière est à retour de gaz ; la cheminée est au-dessus du foyer : il n'y a pas un bout de tuyau de vapeur à

Digitized by Google

l'extérieur. Tout est accessible, même la chapelle de distribution. Les roues sont en fonte, avec rais en fer.

Le premier et même le dernier des charrons peut raccommoder cette machine sans nuire le moins du monde à l'harmonie de son organisme ; il suffit que le conducteur puisse régler le tiroir et refaire les joints, qui sont très-rares; je ne crois pas qu'on puisse y découvrir un seul bout de fer susceptible d'être retranché, un seul coup de lime superflu. Quant au prix de vente, quoiqu'il soit inférieur de beaucoup à celui des autres constructeurs anglais, il doit laisser un bénéfice assez important à la maison Ashby, si toutefois son débouché est grand. Il faut avouer que le public, même à Liége, paraissait plutôt disposé à railler cette machine qu'à en faire l'éloge ; mais le jugement de la foule est soumis à ce préjugé qu'à l'Exposition tout doit porter le cachet de l'élégance et dépouiller sa tenue naturelle. Malheureusement les organisateurs des expositions sont encore loin de faire la guerre à ce mensonge ; ils oublient volontiers que tout ce qui brille n'est pas or ; la laide locomobile de M. Ashby est un vaillant moteur, à en juger par le travail qu'elle a fait à la dernière exposition agricole de Liége.

§ 29. En France, MM. Hermann-Lachapelle et Glover ont une mignonne machine de 2 chevaux, très-simple, très-légère, avec chauffage d'eau par une dérivation de la décharge dans une petite bâche adhérente à la chaudière ; en voyage, cette bâche sert de coffre à serrer quelques menus outils, la provision d'étoupe, de chanvre et d'huile.

§ 30. MM. Cail et Cᵉ ont exposé une grande chaudière tubulaire dont le modèle a été adopté par plusieurs constructeurs de locomobiles, entre autres par M. Durenne). Elle a beaucoup d'analogie avec les chaudières de locomotives (1) : la boîte à feu est cylindrique, avec une partie plate à l'arrière, pour recevoir le faisceau tubulaire. Le ciel de la boîte à feu est bombé, ce qui le dispense des armatures comme on en fait d'habitude.

(1) Voir la *Publication industrielle* d'Armengaud, t. XIV, pl. 6.

Digitized by Google

Le foyer circulaire a un grand rayonnement utile ; la portion indirecte de la surface de chauffe est très-vaste sous un volume relativement restreint, la surface totale dans leurs locomobiles n'est pas moins de 1m,40 par cheval, et la chaleur est bien distribuée dans un grand volume d'eau. Un dôme très-volumineux assure une bonne réserve de vapeur.

Ces messieurs se servent de ce modèle dans leurs usines, pour machines fixes ; alors les gaz font retour à l'extérieur sous la chaudière au sortir de la boîte à fumée. Leur locomobile porte un appareil spécial suspendu au-dessous pour chauffer l'eau d'alimentation : c'est une boîte cylindrique avec un serpentin ; l'eau fait un long circuit, entourée par la vapeur de décharge. Il est à craindre que cet appendice, s'il dépasse l'un des essieux, ne soit gênant en voyage dans les chemins à ornières.

La disposition de la chaudière Cail et Ce est adoptée, paraît-il, dans la locomobile de M. Aubert (Paris), dont le prospectus a soin de montrer toutes les chaudières tubulaires ouvertes, *démunies* du faisceau tubulaire, et contenant un ouvrier occupé à la désincrustation. Nous avons déjà dit que ce constructeur, ainsi qu'un grand nombre de ses confrères de Paris, est entré à pleines voiles dans le système Berendorff.

§ 31. Les locomobiles construites par M. Chevalier (de Lyon), dont nous avons déjà cité les chaudières fixes, rappellent assez bien ces dernières. Quoique l'amovibilité des foyers et des faisceaux tubulaires ne puisse plus avoir aucun titre à l'importance qu'on revendique, les modèles de ce constructeur sont assez recommandables pour que nous les publions (fig. 15 et 16, pl. II). Dans le premier modèle (fig. 15), le vaporisateur s'extrait en défaisant seulement le joint de devant : les carneaux sont formés de tubes d'une seule pièce recourbés sur eux-mêmes, et faisant retour vers la chambre de fumée : la cheminée est placée à l'avant un peu au-dessus de la porte du foyer. La plaque tubulaire est garnie d'une seconde plaque en terre réfractaire percée, en regard des tubes, de trous coniques pour l'entrée des flammes. L'eau d'alimentation

Digitized by Google

est chauffée au moyen de ce que M. Chevalier nomme *un régénérateur* Y composé d'une boîte cylindrique suspendue sous la chaudière et renfermant un faisceau de tubes droits dans lesquels l'eau circule entourée de la vapeur de décharge qui remplit la boîte ; c'est à peu près le système adopté par MM. Cail et Ce, qui, au lieu de diviser l'eau dans une série de tubes droits, la font serpenter en hélice.

Dans le modèle fig. 16, un seul carneau succède à la boîte à feu ; il se prolonge jusqu'à l'extrémité du corps principal et se relie au fond par un joint; les gaz font retour dans des tubes qui s'assemblent avec ce carneau par une courbure en quart de cercle, comme nous l'avons déjà vu pour les chaudières fixes à deux foyers.

Dans l'un et l'autre cas, l'élasticité des tubes jouit de toute la liberté nécessaire aux divers mouvements correspondant aux variations de température.

Le réchauffeur de l'eau Y (régénérateur) est ici placé entre le dôme cylindre et la cheminée, et ses tubes droits sont verticaux. La disposition d'un appareil semblable dans la boîte à fumée par MM. Ruston Proctor et Ce (de Lincoln), qui l'appellent *appareil calorique*, paraît moins encombrante et peut-être préférable.

M. Chevalier place le cylindre à vapeur dans le dôme.

Il attribue à la chauffe une vaporisation de 35 litres d'eau par mètre carré et par heure, et 8 litres par kilogramme de houille.

Quant à la simplicité, il serait difficile d'en désirer plus : mais l'addition d'un régulateur pourrait être d'une grande utilité pour certains usages, notamment pour le battage, le nettoyage des grains et autres travaux agricoles.

§ 32. MM. Farcot et fils ont adopté pour leur locomobile le même système de chaudière dont nous avons déjà parlé ; on lui attribue une consommation de 2 kilogrammes par cheval. Cet appareil étant déjà décrit dans le premier volume de cette *Revue*, p. 109, pl. XXIII, nous y renvoyons le lecteur ; nous nous permettrons d'ajouter que, sans porter atteinte aux bonnes qualités de cet appareil au point de vue de la légè-

Digitized by Google

reté et de l'effet utile qu'on lui reconnaît, ses applications pourraient bien être restreintes, à cause de sa grande hauteur un peu gênante, 2m,80, et de l'élévation de son centre de gravité (1). M. Farcot occupe à juste titre un rang distingué parmi les plus ingénieux constructeurs du continent; mais on ne peut nier que le caractère de ses plus précieux perfectionnements ne soit le sacrifice de la simplicité. Cet abandon a lieu même dans des circonstances où elle est une condition indispensable.

Et, en effet, la réserve de vapeur de cette locomobile est-elle donc suffisante pour justifier l'accroissement de hauteur donné à la chaudière? Et si cet ensemble est destiné aux installations fixes, où est donc l'empêchement de lui donner un volume plus convenable?

Quant au fini de l'exécution, à la sagesse des ajustements, c'est du Farcot, et c'est tout dire.

§ 33. A de rares exceptions près, comme les machines de 25 chevaux de M. Durenne et de M. Calla, les locomobiles françaises, si nous ne nous trompons, ne s'élèvent pas à de grandes puissances: celles de 10 et 12 chevaux sont généralement les plus fortes et sont les moins nombreuses. Leur ajustement est soigné, les matériaux bien choisis, les poids aussi réduits que possible; les consommations indiquées n'ont rien d'extraordinaire et qui ne soit très-admissible dans des essais spéciaux; moins croyables pour le service courant. Les foyers, un peu mieux soignés que chez les Anglais, n'ont cependant pas encore admis les barreaux minces, quoique la houille soit toujours en définitive le principal combustible employé en France. Dans les petites forces, il y a plus de coquetterie dans les formes, les peintures sont recherchées, mais il n'y a pas moins de soins au fond.

§ 34. « Quand on reste chez soi on peut se mettre en n-

(1) Nous ferons remarquer qu'il y a erreur dans la longueur de 1m,835 renseignée à la page 110 du tome I. La bielle de la locomobile Farcot n'a que 1m,180, ce qui est une proportion très-convenable.

Digitized by Google

gligé ; mais quand on va dans le monde on met ses plus beaux habits. Quand on envoie ses produits à l'Exposition universelle, ils doivent être parés. » Voilà textuellement ce que nous avons entendu dire par un des régisseurs officiels de la grande exhibition de 1867. Certes, la locomobile de concours exposée par M. Tilkin-Mention (de Liége) est parfaitement conforme à ce programme. Si nous ne la connaissions de longue date, si elle n'avait gagné de nombreux chevrons, nous aurions pu croire que tout son mérite est dans la belle robe de laiton qui recouvre entièrement la chaudière, la préserve du rayonnement, et... empêche peut-être un peu trop les yeux d'en examiner les détails. L'efficacité d'une enveloppe de cuivre contre le refroidissement de la chaudière est notoire et vaut bien le petit excès de dépense qu'il occasionne ; M. Tilkin-Mention suit avec raison l'exemple donné par les chemins de fer, qui depuis plusieurs années enveloppent de la même façon leurs locomotives ; mais jusqu'à présent les constructeurs de locomobiles n'ont pas encore adopté cette idée, et peut-être pour certains emplois y a-t-il bien quelques raisons pratiques. Quoi qu'il en soit, si cette robe doublée de feutre n'est pas seulement un objet de luxe, on ne peut pas lui refuser le mérite de l'utilité. Parcourons maintenant quelques détails.

Comme plusieurs de ses collègues anglais, M. Tilkin place son cylindre un peu au dehors du méridien principal de la chaudière, afin de laisser place à un trou de visite vers le dessus du ciel du foyer ; il s'ensuit un léger abaissement des coussinets, et par conséquent du centre de gravité de tout le système. Le régulateur est à bras croisés d'une sensibilité très-convenable. Non-seulement le cylindre est enveloppé dans la vapeur, mais celle-ci circule aussi dans les fonds. L'alimentation se fait à l'eau froide. M. Tilkin, après une longue pratique, a cru devoir renoncer à tout système de chauffage, comme trop encombrant, d'une conservation difficile et incompatible avec la simplicité. Nous avouerons que cet avis trouve d'assez nombreux partisans, l'Exposition le prouve surabondamment ; cependant l'avis contraire a aussi

Digitized by Google

l'appui de fortes autorités. Le robinet de livrance a deux voies : l'une fournit l'eau à la chaudière, l'autre permet de refroidir la pompe instantanément. Les robinets purgeurs et jaugeurs sont à bouchon creux, de façon à toujours donner le jet vertical et préserver le chauffeur contre les brûlures.

La surface de chauffe est de 15^{mq},25, c'est-à-dire la force de la machine étant de 10 chevaux, plus de 1^{mq},50 par cheval. La chaudière est simplement tubulaire, comme la plupart des machines anglaises et un grand nombre de machines françaises ; la boîte à feu est droite comme celle des locomotives.

La distribution est à double tiroir et la détente est variable à tous les degrés, depuis zéro jusqu'à la course entière.

Dans le spécimen exposé, le train a été l'objet d'autant de soins que le reste de la machine ; les moyeux en fonte sont recouverts de chapeaux de bronze appliqués à vis. Les lumières de graissage sont fermées à vis et peuvent contenir de l'huile pour un temps très-long, plusieurs mois, dit-on.

L'axe coudé et la plupart des organes mobiles sont en acier fondu, et l'on ne peut que louer sa bonne membrure ; sa simplicité n'est achetée au prix d'aucun organe utile. Le poids de cet appareil est de 5 000 kilogrammes ; la chaudière est timbrée à 4 atmosphères. Le piston a 0^{m},230 de diamètre et marche à la vitesse de 1 mètre par seconde.

Voici le prix courant des locomobiles fabriquées par M. Tilkin-Mention :

Force en chevaux.	4	6	8	10	12	15
Prix en francs avec enveloppe en tôle de fer . . .	3650	4350	5300	5800	6500	7200

§ 35. Exposée à la pluie, sans la moindre couverture, sur le bord d'un talus, à moitié enfouie dans la boue, nous avons rencontré une petite locomobile portant le nom de MM. Deneffe et Ce, (de Liége). Examinée avec un peu d'attention, elle n'aurait sans doute pas été ainsi dédaignée par ceux qui avaient mission de protéger les produits de notre pays. S'il est vrai que sa toilette, comme on l'a dit, laissait à désirer,

Digitized by Google

il est peut-être vrai aussi que les mauvais traitements du voyage et du débarquement n'étaient pas tout à fait innocents de ses avaries ; et d'ailleurs il y en avait d'autres mises à l'abri des intempéries qui non-seulement n'avaient pas meilleur air, mais n'avaient pas encore non plus reçu le moindre coup de brosse pour justifier leur *dignus intrare*.

Quoi qu'il en soit, il vaut mieux être que paraître, et n'ayant pas mission de juger, nous nous félicitons de pouvoir soumettre aux lecteurs de cette *Revue* des renseignements complets sur cette locomobile, l'auteur ayant bien voulu nous en confier les dessins (voir pl. XIV). Bonnes proportions, sobriété de mécanisme et d'ajustement, légèreté, solidité et stabilité, telles sont les qualités que nous signalons et que nous espérons justifier par la description et par les quelques chiffres que nous donnerons.

La figure 56 représente une vue latérale avec coupes partielles de la chaudière, de la chapelle et du dôme.

La figure 57, une coupe du dôme, du cylindre avec chapelle et du foyer.

Les figures 58 et 59, pl. X, les détails de la crosse et de son guide à une échelle un peu plus grande.

La boîte à feu ABCD a la forme de celle des locomotives ordinaires ; elle est ouverte sous la grille, comme le foyer de la chaudière Meunier décrite précédemment ; un cendrier léger en tôle mince est ensuite rapporté. Elle est entourée d'eau latéralement et réunie au corps extérieur par des entretoises.

Le corps cylindrique de la chaudière contient dix-huit tubes disposés sur quatre rangées horizontales.

Le dôme EFGH est fondu d'une pièce avec le cylindre et la chapelle de distribution, ainsi que la tubulure, qui contient a valve régulatrice K, ainsi que la soupape d'admission S (fig. 57), manœuvrée au moyen d'un volant à main agissant sur une tige à vis S'. Il porte aussi toutes les tubulures pour les soupapes de sûreté, le sifflet avertisseur, etc.; les soupapes sont maintenues sur leurs siéges à l'aide de balances à ressort, comme sur les locomotives.

Digitized by Google

La crosse de réunion de la tige du piston avec la bielle est formée d'un seul patin guidé sur le siége PQ représenté fig. 58 en vue longitudinale et en coupe transversale. Il est d'une pièce avec les douilles *a* et *b*, la première recevant l'arbre vertical du régulateur à masses lenticulaires R, la seconde recevant le petit arbre de transmission. L'axe moteur M' (fig. 56 et 57) porte une poulie venue de forge avec lui, et communique le mouvement à ce petit arbre tournant dans la douille *b* ; deux petits cônes dentés achèvent la transmission.

Le manchon du régulateur est en rapport par un secteur denté avec l'axe IK de la valve K.

L'axe moteur coudé a un diamètre de $0^m,070$ aux tourillons et repose sur des coussinets de $0^m,120$ de long ; il est forgé avec la poulie excentrique qui commande le tiroir de distribution. Il porte deux poulies de $0^m,200$ de largeur : l'une, de $1^m,100$ de diamètre; l'autre, de $0^m,700$ de diamètre ; elles font l'office de volant.

Le canal de décharge LL'L''L''' est méplat et se dirige dans la cheminée ; une dérivation XX' amène à volonté la vapeur dans le réservoir, où la pompe aspire l'eau d'alimentation ; on recueille déjà ainsi une partie de la chaleur, et l'eau distillée qui se mélange à l'autre contribue à diminuer un peu la proportion des matières incrustantes. En outre, un tuyau de refoulement serpente dans la boîte à fumée, avant de pénétrer dans la chaudière ; on peut également à volonté alimenter à l'eau froide par le tuyau ZZ', comme chez MM. Ransomes et Sims.

La pompe Z est entièrement de bronze ; le piston plongeur est à fourreau et commandé par le même excentrique que le tiroir.

La cheminée, en deux pièces articulées en O (fig. 56) et munie d'un garde-flamme, est assemblée par des rivets à tête perdue, et le recouvrement parfaitement raccordé, de manière que la section de la cheminée est un cercle très-régulier; la partie inférieure à la charnière O est légèrement conique, mais de même construction quant à l'assemblage conique.

Digitized by Google

Les roues en bois, ferrées convenablement, assurent la solidité et l'élasticité qui convient à ce véhicule, et leur poids, sans être exagéré, abaisse suffisamment le centre de gravité de l'ensemble pour parer à toutes les éventualités des mauvais chemins. Le reste de la machine est très-léger, mais compacte.

La combinaison des pièces de fonte en réduit considérablement le nombre ; la rareté des ajustements et des pièces rapportées est une garantie contre les dislocations. Comme cela devrait toujours être dans ce genre d'appareils, les matériaux sont bien choisis : l'acier et le bronze y ont le grand rôle ; la fonte n'existe que dans les principales masses fixes, telles que le dôme cylindre, le siége du guide-crosse, les crapaudines, la boîte du train pivotant et les moyeux. Ceux-ci sont formés à peu près comme les noyaux de bobines des machines d'extraction.

Voici les principales dimensions de cet appareil :

Diamètre du piston.	0^{m} ,150	
Course du piston.	0 ,280	
Longueur de bielle.	0 ,700	(Cinq fois la manivelle.)
— de la grille.	0 ,700	
Largeur	0 ,520	
Superficie	0^{mq},35	(0^{mq},0875 par cheval.)
Diamètre de la cheminée . . .	0^{m} ,180	
Distance du dôme au ciel de la boîte à feu.	0 ,290	
Surface de chauffe directe. . .	1^{mq},000	
Diamètre des tubes.	0 ,065	
Longueur des tubes.	1 ,450	
Surface de chauffe des 18 tubes.	5^{mq},50	
— totale de la chauffe . .	6 ,50	(1^{mq},63 par cheval.)
Diamètre de la partie cylindrique de la chaudière . . .	0^{m} ,660	
Longueur de la partie cylindrique de la chaudière . . .	2 ,150	2^{m},450
Longueur de la boîte à fumée.	0 ,300	
— total du générateur.	3 ,150	
Timbre	4^{atm}.	
Volume d'eau	0^{mc},270	

Digitized by Google

Volume de vapeur	0mc,210
Nombre de tours.	125
Poids de la grande poulie. . .	270 kil.
— petite poulie . . .	60 —
Poids sans le train (vide). . .	2100 —
— avec le train (vide). . .	2500 —
Force nominale (disponible) .	4 chevaux.
Prix	3 600 francs.

Ces constructeurs ont livré principalement ce modèle comme force motrice des machines à battre ; elle s'applique également aux moulins portatifs, au nettoyage, etc., à un grand nombre de services ruraux, pour lesquels, nous en avons la conviction, c'est un type des plus recommandables.

Digitized by Google

ix courant des locomobiles de divers constructeurs français et belges.

ICE EN CHEVAUX.....	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14 ou 15	18	20
IERMANN LA CHAPELLE CH. GLOVER, à Paris.												
rix en francs avec train	3000	—	4200	—	5600	—	7000	8400	9500	11000	—	—
rix en francs sans train	2800	—	3900	—	5300	—	6600	7900	8900	10300	—	—
Piston.. Diamètre en millimètres	115	—	150	—	180	—	215	235	250	280	—	—
Piston.. Course en millimètres...	220	—	260	—	300	—	330	360	380	400	—	—
Nombre de tours.....	180	—	160	—	140	—	125	115	105	100	—	—
Poids de la machine en kilogrammes.....	1500	—	1900	—	2500	—	3000	3600	4500	5500	—	—
Consommation de charbon par heure et cheval.....	3 à 4 kilogrammes.				2 1/2 à 3 kilogrammes.							
Consommation d'eau par heure et cheval.....	25 à 30 litres.											
II. CHEVALIER, à Lyon.												
Prix en francs avec train et generateur.....	3000	3500	4000	5000	5500	6000	7000	8000	9000	10000	12000	14000
III. FREY, à Belleville.												
Prix en francs.....	—	—	3800	—	5000	—	6500	8000	—	10000	12000	—
V. J. CUMMING, à Orléans			Tubes en cuivre.									
Prix en francs.....	—	—	4000	4800	5600	—	—	—	—	—	—	—
Prix additionnel pour le réchauffeur d'eau....	—	—	200	250	300	—	—	—	—	—	—	—
V. RENARD, à Nantes.												
Prix.....	De 1 à 4 chevaux : 1500 à 1000 francs par cheval.				De 6 à 20 chevaux : 900 à 800 francs par cheval.							
VI. BREVAL, à Paris.												
Tubes en laiton, prix en francs (en 1858).....	2800	3400	4300	—	6000	—	7800	9000	10000	—	—	—
Poids en kilogrammes..	—	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VII. CALLA, à Paris.												
Prix en francs (en 1858), avec train complet ..	—	4000	4800	—	6500	—	—	9000	11500	13000	—	—
Sans train.....	—	3800	4500	—	6100	—	—	8500	10900	12300	—	—
VIII. AUBERT, à Paris.												
Tubes amovibles, système Berendorf, prix en francs.....	3100	3500	4200	—	5800	—	7500	8500	—	12000	—	—
X. C. MONAUT, à Liége.												
Prix en francs.....	—	—	2600	—	3300	—	4000	4500	5000	—	—	—

Digitized by Google

Prix courant des locomobiles

	A UN SEUL CYLINDRE.			
Force en chevaux	3	4	5	6
I. Ransomes et Sims, à Ipswich.				
Prix en francs, y compris manomètre, brosse à tubes, fers de feu, clefs, burette, sabots et chaîne, verre de rechange, couverture waterproof	3 250	3 750	4 125	4500
Prix de l'appareil pour chauffer l'eau	—	—		250
Prix avec la boîte à feu plus grande à usage du bois	3 350	3 863	4 [illegible]	4 625
Consommation moyenne de charbon par heure à la pression de 3 atmosphères, en kilogrammes	11	14	17	20
Eau vaporisée par heure à la pression de 3 atmosphères en litres	73	91	118	136
Nombre de tours par minute	200		150	
Poids net de la machine en kilogrammes	1 734	2 091	2 443	2 650
Prix de l'emballage pour transport maritime en francs	75	100	125	150
II. Marshall fils et Ce, à Gainsborough (Lincolnshire).				
Prix en livres sans train	—	145	155	170
Prix en livres avec train	—	150	165	180
Augmentation pour foyer à bois, en livres et shillings	—	2	2,10	3
Diamètre des cylindres en pouces anglais	—	6 3/4	7 1/2	8 1/2
Course en pouces anglais	—	10	12	12
Poids en quintaux	—	42	48	54
Nota. — Les forces nominales sont calculées à 25 livres de pression par pouce carré, l'épaisseur des tôles pour 60 livres.				
III. John Fowler et Ce, à Leeds (Yorkshire).				
Prix en livres sterling	—	—	—	205
IV. R. Hornsby et fils, à Grantham (Lincolnshire).				
Prix en livres sterling, avec boîte à feu ordinaire	—	—	—	200
Avec grande boîte à feu	—	160	175	190
V. Ruston, Proctor et Ce, à Lincoln.				
La surface du piston est calculée sur le pied de 54cq,80 par cheval. Prix en francs	—	3 750	4 125	4 500
VI. Clayton, Shuttleworth et Ce, à Lincoln.				
Prix en francs (en 1858)	—	4 375	4 750	5 250
Poids en kilogrammes	—	1 814	2 268	2 495
Consommation de charbon par cheval et heure, en kilog	—	3,4 à 4,5	3,6 à 4,5	3,8 à 4,5
Consommation d'eau par heure, en litres	—	145	182	218
VII. Ashby et Ce, à Stamford (Lincolnshire)				
Force en chevaux	2 1/2	3	4	4 1/2
Prix en francs	2 150	2 400	3 200	3 425

Digitized by Google

de divers constructeurs anglais.

A UN SEUL CYLINDRE.				A DEUX CYLINDRES.						
7	8	10	12	10	12	14	16	18	20	24 ou 25
4875	5250	6000	6750	6500	7500	8375	9375	10250	11125	—
		300	325	300	325		350	400	450	—
5000	5375	6000	6750	Mêmes prix que ci-dessus.						—
23	27	33	40	33	40	46	52	56	64	—
159	182	227	273	227	273	318	364	409	445	—
		140	130	140	130	125		120		—
3069	3213	3723	4284	3723	4335	5202	—	—	6474	—
175	200	250	300	250	300	350	400	450	500	—
185	200	230	—	250	290	325	365	—	435	—
195	210	240	—	260	300	335	375	—	445	—
3,10	4	5	—	5	6	7	8	—	10	—
9	9 1/2	10 3,4	—	7 1/2	8 1/2	9	9 1/2	—	10 1/2	—
12	12	14	—	12	12	12	12	—	14	—
63	72	85	—	87	95	110	117	—	160	—
—	230	275	—	—	—	380	—	—	520	650
215	230 et 250 double cyl.	260	300	280	320	355	395	430	465	540
205	220	250	290	—	—	—	—	—	—	—
4875	5250 5625 à double cyl.	6000	—	6500	7500	8375	9375	10250	11125	13625 et 16125 p' 30 chev.
3750	6250	7125	—	—	—	—	—	—	—	—
2721	2948	3402	—	—	—	—	—	—	—	—
3,9 à 4,5	4 à 4,5		—	—	—	—	—	—	—	—
255	291	327	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Digitized by Google

Digitized by Google

REVUE

DE

L'INDUSTRIE DU FER EN 1867

PAR S. JORDAN,

Professeur de métallurgie
à l'École centrale des arts et manufactures.

Digitized by Google

Digitized by Google

REVUE

DE

L'INDUSTRIE DU FER EN 1867

DEUXIÈME PARTIE

FABRICATION DU FER

Dans la première partie de ce travail, nous avons passé en revue les matières premières, c'est-à-dire les minerais et les fontes, qui servent dans les diverses contrées sidérurgiques à la fabrication des fers et des aciers, en étudiant, au fur et à mesure que nous les rencontrions appliqués dans les usines, les perfectionnements récents apportés aux procédés ou aux appareils de production de la fonte.

Nous allons maintenant, dans cette seconde partie, étudier la fabrication du fer, en ne considérant ce métal qu'à l'état brut ou à celui de barres simples, et nous ne nous préoccuperons pas encore de sa transformation en tôles, fers spéciaux, rails ou autres produits industriels. Sans entrer dans autant de détails statistiques et descriptifs que nous l'avons fait pour la fonte, point de départ de la sidérurgie, nous indiquerons toutefois l'état de la fabrication du fer dans les divers pays.

Le fer est obtenu maintenant presque universellement par la méthode dite *indirecte*, c'est-à-dire par l'affinage de la fonte. La méthode *directe*, par laquelle on obtient le fer directement des minerais eux-mêmes, n'est employée que dans quelques rares localités civilisées et par les peuples sauvages et à demi-sauvages de l'intérieur de l'Afrique ou des Indes. Nous ne nous occuperons que de l'industrie des pays civilisés, et nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons déjà dit précédemment de la métallurgie embryonnaire de diverses contrées exotiques.

Digitized by Google

Il est assez difficile, dans l'époque de transformation où se trouve la sidérurgie, de séparer l'étude du fer de celle de l'acier, puisque ces deux métaux ne sont point distingués par des caractères bien tranchés. Certains fers durs sont aussi carburés que certains aciers doux ; au point de vue de la composition chimique, comme à celui des propriétés mécaniques, on peut trouver toutes les qualités intermédiaires entre les aciers les plus durs et les fers les plus mous, sans qu'il soit aisé de placer une démarcation invariable qui sépare la série des aciers de celle des fers. Autrefois la fusibilité de l'acier pouvait être considérée comme un caractère spécifique ; mais avec les progrès qu'a faits l'art du chauffage métallurgique, on peut aujourd'hui fondre même du fer à peine carburé, de sorte que le simple fait d'avoir subi une fusion ne suffit plus pour prouver qu'on a affaire à de l'acier. Il est même probable qu'avec les progrès de la science, le fer fondu prendra une place aussi importante dans l'industrie que l'acier fondu ; l'homogénéité et l'absence de joints plus ou moins bien soudés sont, en effet, des garanties de premier ordre pour la résistance et la durée des pièces fabriquées en fer.

Quoi qu'il en soit, la fabrication qui nous occupera dans cette deuxième partie est celle du fer tel qu'il est connu et défini depuis les anciens, et nous réservons l'étude de l'acier pour une partie suivante de ce travail.

CHAPITRE PREMIER

FABRICATION DU FER AU CHARBON DE BOIS.

La fabrication du fer par l'affinage de la fonte au bas foyer au moyen du combustible végétal a diminué notablement d'importance depuis une vingtaine d'années, par suite des progrès de la fabrication du fer au combustible minéral, et aussi par suite des procédés économiques inventés pour l'obtention d'aciers plus ou moins doux. Mais cette importance est encore grande, et les fers fins obtenus au feu d'affi-

Digitized by Google

nerie jouent toujours un rôle considérable dans l'industrie; on n'a pu encore obtenir au four à puddler des produits ressemblant comme pureté et comme homogénéité aux fers martelés ou laminés provenant des forges comtoises, berrichonnes ou suédoises. Toutefois on pouvait constater à l'Exposition de 1867, en comparant la cassure des aciers très-doux, dits *fers fondus*, exposés par M. Pierre Martin, et obtenus liquides dans un four à réverbère chauffé au gaz, avec la cassure des gros fers martelés exposés par plusieurs usines françaises, qu'il y a entre ces produits d'origine si différente une similitude frappante, qui menacerait les forges au bois dans leur existence, si le prix de revient de ces fers fondus permettait de les livrer en concurrence avec les fers martelés ordinaires. C'est qu'en effet, selon nous, les propriétés qui distinguent les fers fabriqués au feu d'affinerie, savoir la pureté et l'homogénéité, proviennent précisément d'une véritable fusion. Dans le travail de la loupe ou *pièce* devant la tuyère, il s'effectue, grâce à la haute température développée dans un espace resserré par l'action de l'air comprimé sur le charbon de bois poreux et facilement combustible, et aussi peut-être par la combustion du silicium et d'une certaine proportion de fer, une véritable fusion, au moyen de laquelle les molécules du fer se rapprochent et se soudent plus intimement, en expulsant par liquation les scories interposées. Les loupes ou pièces du feu d'affinerie ne ressemblent en rien aux boules qui sortent du four à puddler. Celles-ci sont des sortes d'éponges de fer imbibées de silicates; les loupes des bas foyers suédois ou comtois sont des blocs de fer fondu parfaitement homogènes à leur intérieur. Sur la surface extérieure se trouvent toujours, il est vrai, des inégalités, des dépressions plus ou moins profondes, plus ou moins remplies de scories, qui par le cinglage sous le marteau donnent naissance à des pailles; celles-ci, réchauffées dans le bas foyer lui-même ou dans un fourneau spécial, sont brûlées et disparaissent, ou bien elles se soudent et font corps avec le massiau par le martelage. Mais ces inégalités, ce manque d'homogénéité ne se ren-

Digitized by Google

contrent qu'à la surface, et l'intérieur de la loupe affinée est parfaitement homogène et pur de scories. L'affinage au bas foyer donne un véritable fer fondu, tandis que l'affinage au four à puddler ne donne qu'un fer aggloméré. C'est pourquoi la même fonte traitée par les deux méthodes donne des produits bien différents de qualité ; on voit des fontes au coke pures affinées au bas foyer donner des fers fins qui rivalisent avec ceux provenant de fontes au bois. S'il est rationnel et avantageux dans quelques contrées de réserver le charbon de bois pour l'affinage, la fonte étant fabriquée au coke, il n'est point aussi rationnel, comme on le fait ailleurs, de puddler des fontes fabriquées au charbon de bois ; les fers métis obtenus par cette méthode mixte, ou plutôt bâtarde, ne sont pas sensiblement supérieurs à ceux qu'on obtiendrait en puddlant des fontes fabriquées soigneusement au coke avec les mêmes minerais.

Les fers affinés au charbon de bois et provenant de fontes au charbon de bois présentent en France l'avantage de n'être point du tout rouverains, de se travailler parfaitement à chaud sans criques et sans ruptures, et de ne présenter à l'analyse la plus délicate que des traces presque imperceptibles de soufre. On n'est pas encore arrivé à fabriquer au coke des fontes aussi parfaitement désulfurées ; le soufre du combustible minéral persiste, quoique en proportion très-faible, et les fers provenant de l'affinage au charbon de bois de fontes au coke présentent toujours des traces de soufre plus importantes que les précédents, traces suffisantes pour amener des criques dans des forgeages délicats à des températures relativement peu élevées. Il est du reste à espérer que les fabricants de fontes au coke apprendront à se débarrasser complétement du soufre de leur combustible.

Par contre, les fontes fabriquées au coke avec des minerais de choix sont souvent plus pures de phosphore que celles fabriquées avec le charbon de bois. Des minerais parfaitement dépourvus de phosphore peuvent fournir des fontes phosphoreuses ; le métalloïde nuisible provient alors des cendres du charbon de bois. Certaines essences, surtout les

Digitized by Google

arbres résineux qui ont poussé dans des terrains un peu tourbeux ou marécageux, donnent des cendres qui contiennent 0,7 pour 100 de leur poids de phosphore. L'influence fâcheuse de ce métalloïde est bien connue. On l'a étudiée d'une façon particulière en Suède, où les chimistes dosent des traces très-faibles de phosphore au moyen du réactif recommandé par M. Eggertz, le molybdate d'ammoniaque. D'après M. Rinman, les ouvriers qui réchauffent les lopins de fer au four à gaz et qui les étirent en barres distinguent parfaitement ceux qui sont plus phosphoreux ; on les a mis à l'épreuve en leur donnant à travailler deux espèces de lopins, dont les uns contenaient 0,007 et les autres 0,021 pour 100 de phosphore. Plus le fer contient de phosphore, plus son point de fusion s'abaisse. Ainsi on ne peut chauffer le fer phosphoreux à une aussi haute température que le fer pur sans s'exposer à le voir casser sous le marteau, à cause de la proximité de son point de fusion. Les loupes de fer brut, contenant environ 0,1 pour 100 de phosphore, fondues très-rapidement dans le bas foyer et ensuite insuffisamment refroidies, peuvent, d'après M. Rinman, laisser s'écouler une grande partie du fer qui en forme le cœur, si on les renverse, et il ne reste plus qu'un carcas. Cependant l'affinage est complet ; ce fer ne contient plus que 0,4 à 0,5 pour 100 de carbone. Arrivées sous le marteau, elles se brisent si la température est trop élevée. Ce fer, combiné avec 0,1 pour 100 environ de phosphore, ressemble assez à un fer aciéreux ou à un acier ordinaire ; mais il n'est pas aussi résistant. Toutefois, si la présence du phosphore doit absolument être évitée dans les fers destinés à servir à la fabrication de l'acier, dans certains autres cas elle n'est pas aussi nuisible qu'on le croirait. Elle rend le fer moins doux et plus durable, et l'empêche de se rouiller aussi rapidement ; aussi emploie-t-on avec avantage pour la fabrication des instruments d'agriculture (bêches, pelles, houes, etc.) et pour celle des tôles de couverture, qui doivent durer longtemps, des fers contenant environ 0,1 pour 100 de phosphore.

Digitized by Google

Presque tous les fers fabriqués au charbon de bois proviennent de l'affinage de la fonte. Toutefois on en voyait encore à l'Exposition, dans les sections françaises, espagnoles et américaines, qui proviennent de la *méthode directe*, c'est-à-dire du traitement direct des minerais de fer pour fer en barres sans passer par l'intermédiaire de la fonte. Ce traitement direct s'exécute de plusieurs façons assez différentes : les Pyrénées françaises et espagnoles, les Asturies ont encore leurs anciens *foyers* ou *feux catalans, biscayens*, etc. ; dans les provinces basques espagnoles, on emploie aussi divers procédés plus ou moins semblables au *procédé Chenot ;* aux États-Unis on se sert de *bloomeries*, qui ne sont autres que des feux catalans munis de soles et de rampants où passent les flammes, et que l'on utilise pour le grillage et la réduction préalable partielle des minerais. Mais si, par suite de circonstances locales spéciales, ces procédés se maintiennent encore, et si leurs produits tiennent en échec dans certaines régions peu étendues ceux des forges plus modernes, la méthode directe ne gagne point de terrain et elle ne peut en gagner. La consommation de combustible et le déchet sur le fer sont trop considérables, et de plus elle exige des minerais riches et purs.

L'affinage de la fonte au bas foyer peut s'effectuer, comme on sait, par un grand nombre de procédés ou plutôt de variantes de procédés. M. Tunner, dans sa monographie de la fabrication du fer et de l'acier au bas foyer, en décrit vingt ou vingt et un. Leurs différences proviennent surtout de la nature de la fonte à affiner, c'est-à-dire de sa pureté et de la façon plus ou moins rapide dont elle se décarbure, puis ensuite de circonstances locales. Autrefois on cherchait surtout à augmenter la production des feux sans se préoccuper de l'économie du combustible ; dans les méthodes plus nouvelles, on s'inquiète davantage de diminuer la consommation du combustible et le déchet du fer. La classification qui a été établie par M. Tunner pour les diverses méthodes nous paraît actuellement dépourvue d'intérêt. Elle est, du reste, basée sur des détails souvent tellement délicats, qu'ils sont

Digitized by Google

insaisissables même avec une grande pratique. Les seules variétés qui soient actuellement en usage pour la fabrication du fer au bas foyer sont les suivantes :

Le système français ou *comtois ;*
Le système wallon du pays de Galles ;
Le système allemand des usines suédoises ;
Le système wallon de Dannemora ;
Le système wallon dit *Lancashire, des usines suédoises ;*
Le système Rettig, de l'usine de Kihlafors, en Suède.

Nous étudierons ces divers procédés dans les pays qui les emploient, et nous essayerons de les comparer au point de vue de la qualité des produits comme au point de vue économique.

PREMIÈRE SECTION

France.

Préliminaires. — Avant d'étudier les produits de l'affinage au bas foyer qui figuraient à l'Exposition, nous devons dire que les forges catalanes qui existent encore dans les Pyrénées françaises s'étaient abstenues d'envoyer aucun de leurs produits. Le nombre de ces usines a, du reste, singulièrement diminué depuis quelques années. En 1861, on comptait encore en France, d'après la statistique officielle de l'administration des mines, soixante-huit feux catalans et corses en activité, surtout dans les départements de l'Ariége et des Pyrénées-Orientales. En 1864, on n'en comptait plus que quinze, dont la majeure partie dans ce dernier département. On peut prévoir la disparition complète, dans un avenir peu éloigné, de ces derniers représentants de l'ancienne sidérurgie ; le perfectionnement des voies de communication sur le versant nord de la chaîne pyrénéenne les forcera à s'éteindre. On a essayé en 1867 à l'usine de Lamarade, près de Vic-Dessos, une modification du procédé Chenot, ayant aussi pour but de fabriquer directement du fer avec les minerais ; nous ignorons quel succès a rencontré cette tentative, qui cependant n'a pas eu, croyons-nous, d'imitateurs. D'après M. Mussy (*Annales des mines*, 1869), le

Digitized by Google

prix de revient du fer catalan à Vic-Dessos est actuellement de 30 francs les 100 kilogrammes environ ; celui du fer Chenot est environ de 24 francs.

L'affinage de la fonte au charbon de bois se faisait autrefois en France par plusieurs procédés assez différents. M. Thirria, dans un excellent mémoire publié en 1840 dans les *Annales des mines*, a décrit les trois principaux. Dans la *méthode franc-comtoise*, on traitait des fontes grises, et dans la *méthode champenoise* des fontes truitées à peu près de la même façon, travail comprenant les trois périodes de fusion, de soulèvement et d'avalage. Dans la *méthode bourguignonne*, traitant des fontes blanches, le soulèvement était supprimé. Les différences des méthodes provenaient de la nature des fontes qu'on obtenait dans ces régions, les Comtois ne fabriquant bien que des fontes grises et les Bourguignons que des fontes blanches. Dans le Nivernais, où l'on fabriquait des fontes grises, on les mazait préalablement, pour traiter ensuite la fonte blanche caverneuse obtenue, comme en Bourgogne ; c'était la *méthode nivernaise*.

Actuellement ces variantes locales ont disparu ; on ne traite plus au bas foyer que des fontes grises pures, fabriquées au charbon de bois ou au coke, et la méthode est toujours la méthode comtoise. Seulement celle-ci est loin d'être maintenant ce qu'elle était en 1840, lorsque M. Thirria la décrivait.

En 1840, un feu produisait par mois 16 à 18 tonnes de fer seulement, avec une consommation de 70 hectolitres de charbon de bois par tonne de fer. Une opération ne donnait que 65 kilogrammes de fer et durait deux heures un quart environ.

En 1867, on produit 25 tonnes au moins par feu comtois et par mois, avec une consommation de 50 à 52 hectolitres de charbon de bois par tonne de fer. Une opération fournit une loupe de 100 kilogrammes environ. Ce progrès est dû en majeure partie à l'amélioration du soufflage : en 1840, la pression du vent injecté ne dépassait guère 35 millimètres de mercure ; maintenant elle atteint 50 et 55 millimètres.

Digitized by Google

Lorsqu'on se contente de faire au feu comtois des massiaux et qu'on les réchauffe pour l'étirage dans un four à réverbère, la production mensuelle augmente et les consommations diminuent encore.

On n'emploie plus que des fontes grises, au moyen desquelles on obtient des loupes beaucoup plus chaudes qu'avec les fontes truitées ou blanches; celles-ci, qui ne peuvent pas donner un fer aussi homogène, sont réservées pour le puddlage.

Dans le Berry et le Périgord, on affine au bois exclusivement des fontes au charbon de bois; en Franche-Comté, on traite aussi des fontes au coke provenant des minerais méditerranéens, et qui ont l'avantage de ne coûter, rendues dans le pays, que 130 francs environ la tonne, alors que les fontes au charbon de bois valaient 185 francs à l'époque où elles étaient seules maîtresses du marché. L'usine de Saint-Louis, la première, a fabriqué des fontes au coke qui ont pu remplacer dans les forges comtoises les fontes au charbon de bois du pays ; grâce à cette substitution, les fabricants de fers au bois ont pu soutenir avec plus ou moins de succès la concurrence des fers de Suède, facilitée par le déplorable trafic des acquits-à-caution.

On ne fabrique plus de fer au bois en France que dans les groupes de Comté (en y comprenant l'Alsace et la Bourgogne), du Centre (Berry, Bourbonnais, Nivernais), de Champagne (Haute-Marne, Ardennes) et du Sud-Ouest (Périgord, Landes). Les qualités les plus recherchées viennent de la Franche-Comté et du Berry; on classe ensuite les fers du Périgord; ceux de Champagne n'ont pas une valeur aussi grande.

Voici comment on peut évaluer le prix de revient des fers au bois fabriqués par la méthode comtoise et martelés en grosses barres :

1 300 kil. de fonte au charbon de bois, à 180 francs.	234 fr.	00
52 hect. de charbon de bois à 1 fr. 50	78	00
Façon, 1 fr. 90 par 100 kil.	19	00
A reporter . . .	331 fr.	00

Digitized by Google

Report. . . .	231 fr.	00
Frais de location ou canon de l'usine.	12	00
Entretien du matériel, matières	23	40
— façon.	2	50
	368 fr.	90

Avec la fonte à 130 francs, ce prix descend à 303 fr. 90.

Après ces généralités sur les forges au bois françaises, nous examinerons les produits de celles qui avaient exposé.

Groupe de Comté.— La *Compagnie des forges d'Audincourt et dépendances,* qui possède vingt feux d'affinerie dans ses usines d'Audincourt, Bourguignon et Belfort, marche à la tête des forges franc-comtoises. Elle fabrique annuellement, avec des fontes au bois de ses propres hauts fourneaux et avec des fontes fines au coke, plus de 6 300 tonnes de fers forgés et laminés de toutes dimensions, jusqu'aux carrés de 150 millimètres. Le poids maximum des barres sans corroyage est de 150 kilogrammes. Ce genre de fabrication était représenté à l'Exposition par des barres forgées carrées de 40, 75, 100 et 140 millimètres, des plats de 200 sur 50 et 220 sur 30, et des barres laminées rondes de 15, 20, 30, 40, 50, 60 et 75 millimètres.

La résistance à froid des fers forgés et laminés est constatée par le pliage en forme de nœud d'une barre ronde de 100 millimètres de diamètre : cette barre a été pliée à froid au marteau pilon sans présenter de criques ni de gerçures. Son extrémité, préalablement entaillée, a été cassée ; elle montre un grain fin d'une régularité parfaite, indiquant un soudage sans défaut. On remarquait aussi la cassure excessivement nerveuse d'une barre plate de 100 sur 40. Les épreuves à chaud ont été faites sur des barres carrées et rondes; dans une barre carrée de 110 millimètres, on a percé un trou rond et un trou carré, on a fendu en quatre l'extrémité de la barre et replié les quatre parties sur elles-mêmes. Dans une barre carrée de 80 millimètres, on a percé un trou de 180 millimètres en y chassant des mandrins successifs ; les côtés de l'œil n'ont plus que 20 millimètres de hauteur sur 2 millimètres d'épaisseur ; il n'y a aucune trace de

Digitized by Google

criques, quoique la barre n'ait pas reçu le moindre coup de marteau. Les fers d'Audincourt et de Belfort jouissent d'une réputation méritée pour tous les travaux de forge délicats.

La *Société des fonderies et forges de Franche-Comté* (S. Menans et Ce) exposait aussi des fers au bois, provenant de ses excellentes fontes au bois de Pesmes et Valay et fabriqués à Bourg-de-Sirod (Jura). Sa production annuelle de fers au bois dépasse 12 000 tonnes. MM. Daubié et Ce et Vaney (*forges du Blanc-Murger et d'Alangie,* dans les Vosges) avaient des fers fins destinés à la tréfilerie, montrant dans la cassure un beau grain demi-fin avec un nerf argentin dans le coup de tranche ; ils provenaient de fontes de Saint-Louis. MM. Irroy frères et Ce, des *forges de la Hutte* (Vosges); MM. Vandel aîné et Ce, des *forges de la Ferrière sous Jougne* (Doubs); M. Jobez, des *forges de Siam* (Jura); Mme veuve Joseph Chavanne, de la *manufacture de Bains,* fondée en 1733 (Vosges); MM. Campionnet et Ce, des *forges de Gueugnon* (Saône-et-Loire); M. Lallemand, d'*Uzemain* (Vosges); M. Victor de Pruines, des *forges de Semouse* (Vosges), exposaient aussi des fers fins, des verges, des verges crénelées, fabriqués avec les fontes de Comté ou avec les fontes fines du Midi.

Deux producteurs importants, MM. Japy frères et Ce et MM. Viellard-Migeon et Ce, n'exposaient pas de fers en barres, mais ils en fabriquent pour les besoins de leurs ateliers de quincaillerie, dans les forges de Lisle-sur-le-Doubs pour les premiers, et de Morvillars pour les derniers. Les *forges de Lisle-sur-le-Doubs,* dirigées par M. Meiner-Japy, ont été les premières qui aient introduit largement dans la consommation des feux d'affinerie des fontes fines au coke provenant des hauts fourneaux de Saint-Louis; et elles ont démontré la vérité des considérations par lesquelles nous avons commencé ce chapitre, en fabriquant des fers fins au charbon de bois propres aux usages les plus délicats de la tréfilerie, de la visserie, etc., avec des fontes au coke. L'exemple donné par M. Meiner-Japy et par les hauts fourneaux de Saint-Louis a été suivi, et maintenant, grâce aux fontes de Saint-Louis,

Digitized by Google

Bességes, Givors, etc., les forges franc-comtoises peuvent fabriquer des fers battus au bois à 60 francs par tonne au moins au-dessous de leurs anciens prix de revient.

MM. de Dietrich et Cᵉ exposaient des fers fins martelés pour l'artillerie et les usages agricoles, fabriqués dans leurs *forges de Jaegerthal et de Zinswiller* (Bas-Rhin); des échantillons soumis à des épreuves variées permettaient de constater leur bonne qualité.

Groupe du Centre. — Les usines au bois du Centre étaient peu représentées. Les *usines de Tronçais*, appartenant à la *Société des forges de Châtillon-Commentry*, exposaient seules des fers battus au bois. Celles de *Guérigny* (Nièvre), de la marine impériale, qui comptent huit feux, étaient représentées par une plaque de blindage. Les *forges de Bigny et de Mareuil-sur-Arnon*, bien connues à Paris pour l'excellente qualité de leurs fers, destinés à la carrosserie surtout, s'étaient abstenues de paraître. Dans les feux d'affinerie du Berry, le roulement est à peu près le même qu'en Franche-Comté : dans ces feux, soufflés par deux tuyères, on obtient une loupe pesant 100 à 110 kilogrammes. La consommation de fonte au bois du pays est de 1 150 kilogrammes environ, et celle de charbon bois léger de 5 mètres cubes environ (950 kilogrammes) par 1 000 kilogrammes de fer mis sous forme de massiaux.

Groupe du Sud-Ouest. — MM. Durand jeune et Guyonnet, des *forges de la Cité*, à Périgueux, avaient des fers au bois à grains pour rivets, des fers doux, soumis à diverses épreuves. MM. Bouillon jeune et fils et Cᵉ, directeurs des *forges de Larivière-Champagnac* (comprenant huit fours comtois), exposaient des massiaux de fer brut à grains, affinés au bois, cinglés au laminoir, sans presse ni marteau. Leur établissement ne comprend en effet pas un seul marteau : ils ne fabriquent que des fers pour la tréfilerie et la clouterie. S'ils devaient fabriquer des fers pour la taillanderie et la forge, ils seraient probablement obligés d'avoir recours au cinglage au marteau, au lieu du cinglage au cylindre; toutefois les cassures de leurs massiaux présentaient un beau grain uniforme. Ils avaient aussi des fers en verges pour la fabrication des clous à cheval, provenant de

Digitized by Google

leurs massiaux réchauffés dans des fours particuliers. Ces fours, au nombre de deux, improprement appelés *fours carinthiens*, sont chauffés par les gaz provenant de la distillation et de la combustion incomplète de la houille ; ces gaz s'obtiennent dans des générateurs ou gazogènes soufflés, attenant au four lui-même. Les chaleurs perdues servent à la production de la vapeur dans deux chaudières placées à la suite des deux fours. La consommation de houille par tonne de fer étiré en petits fers est de 300 kilogrammes environ, et le déchet de 9 pour 100. Ces fours fonctionnent depuis 1850. Les verges sont étirées au martinet à queue ou au martinet Schmerber. MM. Léon et Cᵉ exposaient des petits fers martinés carrés, fabriqués à la *forge de Ponteux* avec les fontes du fourneau de Labouheyre.

Groupe de Champagne. — Une des plus intéressantes expositions était celle des *forges du Manois* (Haute-Marne), appartenant au comte de Beurges. On y voyait de très-beaux fers bruts à gros grains, provenant de l'affinage de fonte au bois grise nº 3 et truitée, très-doux et coupés en copeaux à froid à côté de la cassure à grains. Ces fers bruts sont corroyés, laminés et transformés en fers à câbles, présentant un très-beau nerf, long et tenace. Le tableau suivant, relatif à la résistance de ces fers à câbles et des chaînes qui en sont fabriquées, témoigne de leur bonne qualité :

Barres rondes étirées à outrance à froid.

Numéro d'ordre.	Diamètre des barres.	Allongement par mètre.	Charge de rupture.	Résistance par millim. carré.
1	10 millim.	163 millim.	3 300 kil.	36 kil. 970
2	12 —	148 —	4 650 —	37 800
3	15 —	220 —	6 200 —	35 070
4	17 —	185 —	8 200 —	36 120
5	18 —	221 —	9 100 —	35 750
6	41 —	269 —	47 000 —	35 600
7	47 —	276 —	59 500 —	33 600
8	50 —	268 —	94 000 —	34 600
9	61 —	252 —	98 500 —	34 200

L'allongement de 276 millimètres éprouvé par le numéro 7

Digitized by Google

est plus considérable, croyons-nous, qu'aucun de ceux cités par les auteurs d'ouvrages sur la résistance des matériaux. Il est fâcheux que les expériences ci-dessus n'aient pas indiqué la limite d'élasticité.

Chaînes tirées à outrance.

Numéro d'ordre.	Diamètre du fer.	Charge de rupture.	Résistance par millim. carré.
10	12 millim.	8000 kil.	35 kil. 400
11	40 —	71 500 —	28 450
12	46 —	96 500 —	29 340

Le travail du forgeage pour la façon des chaînes semble avoir diminué la résistance du fer. Les chaînes sont formées de maillons à étai.

Une autre forge, celle de *Doulaincourt* (M. Bonnamy), département de la Haute-Marne, exposait aussi des fers corroyés de grande résistance pour la fabrication des chaînes aux forges impériales de la Chaussade (Nièvre). Trois maillons de chaîne exposés avaient supporté, sans se détacher, quarante coups d'un pilon de 1 500 kilogrammes ; trois autres, cent coups du même pilon. Une chaîne en fer de 45 millimètres avait porté, sans casser, 96 000 kilogrammes.

Les *forges de Bazeilles* (MM. Boutmy père et fils), celles de *Flize-Boutancourt* (M. E. Muaux et Ce) représentaient l'industrie ardennaise pour les fers au bois.

Quelques autres forges françaises, comme celles de *Rugles*, *la Bonneville*, etc., dans le département de l'Eure, celles de *la Rochette* en Savoie (à M. Leborgne, qui cotait son fer 45 francs les 100 kilogrammes) etc., exposaient encore des fers au bois.

Le tableau suivant donnera une idée de la marche de la production du fer au combustible végétal depuis 1855, date de la première exposition universelle de Paris.

Années.	Production totale de fer.	Production de fer au charbon de bois.
1855	557 218 tonnes.	79 934 tonnes
1856	568 669 —	85 146 —
1857	559 959 —	83 755 —

Digitized by Google

Années.	Production totale de fer.	Production de fer au charbon de bois.
1858	530 102 tonnes.	87 453 tonnes.
1859	533 381 —	90 654 —
1860	532 212 —	70 214 —
1861	631 178 —	59 119 —
1862	734 257 —	67 485 —
1863	770 244 —	75 444 —
1864	792 058 —	58 476 —
1865	812 000 —	61 400 —
1866	811 900 —	50 400 —

On y remarquera que, si ces chiffres, donnés par la statistique officielle dressée par les ingénieurs des mines, sont exacts, la fabrication du fer au feu d'affinerie a notablement diminué d'importance depuis sept années ; et si nous pouvions donner les chiffres relatifs aux années 1867, 1868 et 1869, on y trouverait certainement une diminution nouvelle et considérable amenée par l'invasion des fers de Suède due au trafic abusif des acquits-à-caution.

DEUXIÈME SECTION

Suède et Norwége.

Préliminaires. — La fabrication du fer dans la péninsule scandinave se fait presque uniquement aù combustible végétal et par l'affinage de la fonte dans des bas foyers. Dans cinq ou six usines seulement, on puddle la fonte, soit à la houille (Motala, Nykoping), soit au bois (Nyby, Surahammar), soit au gaz (Finspong, Lesjœfors).

En 1845, d'après M. Durocher, on employait dans les forges suédoises quatre méthodes d'affinage, suivant la destination du fer à obtenir, savoir : les *méthodes wallonne, allemande, à la Lancashire* et *demi-wallonne*. La méthode allemande, qui est aussi mentionnée par M. Leplay dans son beau mémoire sur le commerce des fers dans le nord de l'Europe, a maintenant presque totalement disparu. Elle est remplacée par la méthode comtoise, qui était déjà pratiquée anciennement, d'après M. Rinman, dans deux usines de la province d'Elfsborg, où elle avait été importée par M. le

Digitized by Google

baron de Saint-Cyr; mais ce n'est qu'à partir de 1853 qu'elle s'est développée, grâce aux perfectionnements apportés et à la persévérance de M. W. Didron. La méthode demi-wallonne, employée autrefois à Sœderfors, a été abandonnée.

Actuellement les forges suédoises affinent la fonte au bas foyer par cinq méthodes différentes, employant toutes le charbon de bois comme combustible :

1° La *méthode wallonne,* toujours usitée dans les usines qui traitent les fontes de Dannemora pour fabriquer des fers destinés à la cémentation. Elle est encore à peu près telle que M. Leplay l'a vue autrefois ; la consommation de combustible a été un peu diminuée, mais elle est toujours considérable, ainsi que le déchet. Les maîtres de forges la conservent surtout par routine, en pensant qu'elle donne un fer plus homogène et plus pur que les autres ; mais des métallurgistes suédois distingués, comme M. Grill, ne sont point de cet avis ;

2° La *méthode comtoise,* qui est très-répandue maintenant et qui est la plus économique, procède par plus grandes charges ;

3° La *méthode à la Lancashire* est une méthode wallonne, puisqu'elle emploie deux foyers. Presque toujours le foyer destiné au réchauffage du massiau pour l'étirage est un four à gaz de bois, de charbon ou de tourbe, surtout lorsque la production annuelle a pu s'élever à 850 tonnes. Toutefois un petit nombre d'usines, ne faisant que 200 à 400 tonnes par an, se servent encore, pour le réchauffage, de bas foyers soufflés, ou chaufferies, analogues à ceux de la méthode wallonne ;

4° Une nouvelle méthode d'affinage, employée dans la seule usine de Kihlafors, est celle imaginée par *M. Rettig,* d'après les conseils de Sefstrœm. Dans cette méthode, on emploie deux foyers, comme dans les méthodes wallonne et à la Lancashire, mais on traite de plus grandes masses et on soigne davantage l'affinage, en faisant une loupe d'un seul morceau qu'on refond ensuite. C'est une sorte de méthode demi-wallonne qui exige une quantité considérable de com-

Digitized by Google

bustible. On réussit à obtenir ainsi un fer excellent pour les canons de fusils ;

5° Très-peu d'usines emploient encore la *méthode allemande*, qui procède par grandes charges (150 à 200 kilogrammes) ; le travail est lent ; l'affinage, effectué sans scories, dure environ neuf heures.

Méthode wallonne. — Le travail par la méthode wallonne pour les fers à acier de Dannemora s'effectue dans des feux en partie brasqués, soufflés par une seule tuyère à l'air froid. On y introduit par la rustine de longues gueuses en fonte blanche ou truitée ; le travail se fait en allure presque sèche, très-rapidement ; pendant la première période de l'opération on réchauffe dans le feu lui-même le massiau provenant de l'opération précédente, et dont les réchauffages subséquents se font dans un feu de chaufferie particulier. La tuyère unique a de grandes dimensions. Le produit d'une opération, qui dure environ une demi-heure, est une barre de fer étirée toujours au marteau et qui pèse 45 kilogrammes (autrefois 27 à 30 kilogrammes). Une seule usine, celle d'*Œsterby*, appartenant au baron de Tamm, exposait des fers provenant de fontes de Dannemora affinées par la méthode wallonne, cinglés et étirés avec un marteau pesant 425 kilogrammes ; ce poids considérable est sans doute nécessaire pour expulser les scories assez peu fluides que donne l'affinage wallon. L'usine d'Œsterby, qui est neuve, comprend deux feux d'affinerie, deux feux de chaufferie, avec deux chaudières à vapeur tubulaires horizontales placées au-dessus fournissant de la vapeur à une machine horizontale qui commande par courroies deux marteaux. Les usines de *Leufsta* (marque *Hoop L*), de *Forsmark* (*Hoop F*), de *Ranas* (*Hoop GL*), dont les marques sont bien connues des aciéries françaises et anglaises, n'avaient pas exposé.

Méthode allemande. — L'*usine d'Oslattfors* (M. A. Lundeberg, de Forsbacka) exposait du fer à acier fabriqué à l'allemande avec les fontes du haut fourneau de Bommarsbo, qui traite les minerais de Bispberg ; ce fer montre un très-beau grain.

Digitized by Google

Méthode comtoise. — Bon nombre d'usines présentaient des fers obtenus par la méthode comtoise, comme celles du district de Nora, du district de Filipstad, de Baldersnaes, etc. Dans la majeure partie des feux comtois de la Suède, on emploie deux tuyères ; mais elles ne sont pas placées, comme en France, à côté l'une de l'autre sur la warme, mais en face l'une de l'autre ; l'une d'elles est spécialement destinée au réchauffage et est à cause de cela munie d'un plus grand orifice que la seconde, dont le jet d'air plus comprimé fait fondre les morceaux de fer affiné, en une seule pièce de fer brut. On place aussi la tuyère pour réchauffage au-dessus de la tuyère pour fusion, de sorte qu'on peut ôter la première quand on travaille avec la seconde, qui est bouchée pendant l'étirage. Les massiaux comtois sont presque toujours étirés au marteau. On charge 125 à 130 kilogrammes de fonte blanche ou truitée, préalablement chauffée, et l'on ajoute souvent un peu de sable pour rendre les scories plus fluides. On ne fait point de soulèvement.

Méthode a la lancashire. — Mais la méthode qui figurait de la manière la plus intéressante à l'Exposition était celle que les usines suédoises appellent *à la Lancashire,* bien qu'elle n'ait rien de commun avec ce comté de l'Angleterre. Dans cette méthode, on emploie un feu ayant 17 centimètres environ de profondeur, à fond horizontal, soufflé tantôt par une seule tuyère, tantôt par deux placées en face l'une de l'autre, la pression du vent étant de 63 à 80 millimètres de mercure (1). Dans les feux à une tuyère, on charge 85 à 100 kilogrammes de fonte ; dans ceux à deux tuyères, 120 à 130 kilogrammes de fonte ; celle-ci est en plaques de 5 à 7 centimètres d'épaisseur, et on la chauffe ordinairement au moyen des flammes perdues sur une petite sole adjacente. Comme on affine des fontes blanches peu siliceuses, on ne craint pas l'emploi de l'air chaud, et le vent est chauffé par

(1) On a avec les deux tuyères augmenté la production et diminué la consommation de combustible ; on croit avoir remarqué aussi que le fer est plus homogène.

Digitized by Google

les flammes perdues à 100 ou 120 degrés centigrades. Une opération dure une heure un quart à une heure et demie. On consomme, pour l'obtention de 100 kilogrammes de massiaux, 114 à 115 kilogrammes de fonte et 70 à 90 kilogrammes de charbon de bois. Les massiaux, dans les forges de peu d'importance, sont réchauffés dans un feu de chaufferie soufflé, et étirés au marteau : on y consomme 105 à 106 kilogrammes de massiaux et 100 kilogrammes de charbon de bois par 100 kilogrammes de barres finies. Quand la forge est plus importante, ainsi que c'est le cas maintenant pour la majorité, on emploie des *fours à gaz* qu'on appelle *système G. Ekman,* parce que l'habile maître de forges de Lesjœfors en a fait le premier l'heureuse application en 1843. Nous nous occuperons plus loin de ces intéressants appareils. Les massiaux réchauffés au four à gaz sont étirés soit au marteau, soit au laminoir : dans le premier cas, on consomme 116 à 117 kilogrammes de massiaux et 60 kilogrammes de charbon de bois par 100 kilogrammes de barres finies; dans le deuxième cas, 108 à 109 kilogrammes de massiaux et 37 kilogrammes et demi de charbon de bois par 100 kilogrammes de barres finies.

Diverses usines représentaient l'emploi de cette méthode. L'une d'elles, celle d'*Ockelbo,* province de Gefleborg, exposait des fers à acier provenant des minerais de Vintjern préalablement grillés au gaz et traités avec addition de castine; la fonte était truitée, et les laitiers gris pierreux compactes, avec une croûte vitrifiée enfumée. Le fer réchauffé dans des fours Ekman est étiré au marteau. L'usine d'Ockelbo exposait aussi les scories de ses feux à la Lancashire, qui étaient, d'après l'analyse qui en a été faite, très-basiques et chargés en peroxyde de fer. Voici cette analyse :

Silice.	13,900	Oxygène		7,32
Protoxyde de fer	28,500	Oxygène.	6,32	23,18
Peroxyde de fer.	53,750	—	16,12	
Protoxyde de manganèse. .	0,186	—	0,04	
Alumine	1,500	—	0,70	
A reporter. . .	97,836			

Digitized by Google

Report. . .	97,836
Chaux	traces.
Magnésie	traces.
Soufre	0,068
Phosphore	0,060
Acide titanique	traces non dosées.
	97,904

On voit qu'en considérant la silice seule comme jouant le rôle d'acide, le silicate est de la forme SB^3; ou bien on peut considérer la scorie comme un singulo-silicate $3FeO,SiO^3$, renfermant en dissolution du peroxyde de fer $2Fe^2O^3$.

Le fer d'Ockelbo, dont les échantillons exposés prouvaient l'homogénéité, coûte 270 francs la tonne prise sous vergues à Gèfle, en barres plates; l'usine produit 2 500 tonnes par an.

Les *forges de Carlskoga* (Bofors), à M. Lagerhjelm, exposaient des petits fers bottelés (carillons, verges, bandelettes) fabriqués à la Lancashire et cotés 375 francs la tonne anglaise sous vergues à Gothembourg. L'*usine de Svarta* produit 1 300 tonnes environ de fer en barres par an qui se vend 31 à 32 francs les 100 kilogrammes sous vergues à Gothembourg; il sert surtout pour les billettes destinées à la fabrication du fil de fer; il en est de même de l'*usine de Svana*, qui emploie le minerai de Grondal. A *Lesjœfors*, chez M. G. Ekman, on fait à la fois des fers à acier et des fers destinés à la tréfilerie avec les fontes du haut fourneau de Langbanshyttan (1). A *Finspong*, chez M. C. Ekman, où l'on produit par an 7 000 tonnes de fonte, 1 250 tonnes sont vendues sous forme de canons et projectiles, 750 vont à l'étran-

(1) L'usine de Lesjœfors produit annuellement 2 550 tonnes de fonte dont 1 530 employées sur place à l'affinage et le reste vendu à 135 francs, la tonne à Gothembourg — et 1 360 tonnes de fer de forge, dont 425 sous forme de blooms ou billettes octogones de 26 millimètres de côté vendues 336 francs la tonne; 64 transformées en acier cémenté vendues 571 francs la tonne; 153 de fer machine de 6 millimètres vendues 452 francs la tonne; 421 de fil de fer vendues de 404 à 1 010 francs la tonne; 85 de clous divers vendues 672 à 839 francs la tonne; 85 de câbles vendues de 1 010 à 1 678 francs la tonne; et enfin 127 tonnes de déchet de dénaturation.

Digitized by Google

ger pour la fabrication de la fonte malléable, et 5 000 sont affinées. Ces 5 000 tonnes produisent 2 250 tonnes de massiaux et 2 000 tonnes de fer en barres diverses et en billettes pour la tréfilerie. L'*usine de Mœlmbacka* (Carlstad) exposait d'excellents fers fabriqués avec les minerais de Persberg et portant la marque *MB Lancashire*, qui est très-estimée des tréfileurs français pour la fabrication du fil à cardes. La *forge de Hammarby* (Nora), exposait des fers à aciers et des fers pour outils agricoles fabriqués aussi à la Lancashire.

Méthode Rettig. — L'*usine de Kiklafors*, appartenant à M. Rettig, exposait des fers d'armes destinés à la fabrication des canons de fusil, fabriqués par une méthode spéciale. Dans cette méthode on traite une charge de fonte environ double de celle ordinairement usitée, on fait une seule loupe qu'on soulève et qu'on refond. Le réchauffage pour l'étirage se fait dans un four de chaufferie au charbon de bois, sans employer de fours à gaz.

Fers de Suède. — Les fers de Suède sont connus dans le monde entier pour leur ductilité et leur ténacité, et pour leur qualité spéciale au point de vue de la cémentation. Toutefois on fabrique en Suède les qualités les plus diverses; et les différences tiennent aussi bien au mode d'affinage qu'à la nature des minerais employés. Voici, d'après M. Rinman, quelques détails à ce sujet.

Les fers de Dannemora, fabriqués par la méthode wallonne, ont généralement un grain fin et inégal, parce que les parties dures sont entremêlées avec des parties tendres, comme on pouvait le voir dans les échantillons exposés par l'usine d'Œsterby. Cependant la ductilité, la ténacité et la force de ce fer sont toujours supérieures à celles des autres fers. Il présente la propriété remarquable de se comporter au feu de forge comme le fer le plus doux et de devenir très-nerveux, même lorsqu'il a l'apparence la plus dure. Comme d'ailleurs on l'emploie uniquement pour la fabrication de l'acier cémenté qui est ensuite fondu, les inégalités de texture disparaissent tout à fait dans le produit fini.

Les fers obtenus par la méthode allemande sont souvent

Digitized by Google

très-durs et non homogènes, mais certains consommateurs les recherchent pour les outils qui doivent faire un long usage.

Ceux qui proviennent de la méthode comtoise sont généralement très-homogènes et possèdent, de plus, une certaine dureté qui manque souvent aux fers à la Lancashire, et qui est appréciée des consommateurs.

Mais les fers qui présentent ordinairement le plus d'homogénéité sont ceux obtenus par la méthode dite *à la Lancashire*. La cause en est toute pratique : l'étirage des blooms n'est pas fait par les ouvriers qui sont chargés de l'affinage, et ceux qui le font ont tout intérêt à ne pas étirer des fers de mauvaise qualité. Ce sont en effet les fours à réchauffer qui exercent le contrôle le plus efficace sur les ouvriers affineurs. Les loupes qui ne sont pas homogènes, parce que ces ouvriers n'ont pas travaillé avec assez de soin et d'intelligence toutes les parties, se brisent en arrivant incandescentes sous le marteau et projettent des morceaux et des étincelles bleues. Il faut alors ou les rebuter pour les renvoyer à l'affinage ou les étirer à une température plus basse pour les employer aux besoins de l'usine elle-même.

Pour les fers de taillanderie, on cherche à obtenir du fer à fin grain, mais mélangé de beaucoup de nerf. Pour les fers à acier, destinés à la fabrication de l'acier cémenté et laminé pour ressorts, on affine de façon à obtenir un fer mou ou à gros grain, ce qui est plus aisé et procure un métal plus homogène.

La plupart des fers de Suède destinés à la cémentation sont étirés au marteau ; cependant on emploie aussi les barres laminées. La *forge de Kronaberg* (Wermeland) a été la première, d'après M. Tunner, qui ait réussi à faire adopter ses barres laminées par les fabricants d'acier de Sheffield. Cependant il existe encore une préférence marquée pour les barres martelées, bien que leur homogénéité soit moins certaine que celle des barres laminées. Ces dernières, dit-on aussi, doivent être cémentées plus rapidement que les autres, probablement parce que leur surface est moins dense

Digitized by Google

que celle des barres finies au marteau à une température relativement plus ou moins basse. Il y a maintenant un assez grand nombre de laminoirs en Suède qui étirent surtout les lopins provenant de la méthode à la Lancashire (*Smedjebacken, Bofors, Axmar*, par exemple).

« Le mémoire bien connu de M. Leplay, dit M. Rinman, contient un tableau des principales forges suédoises et norwégiennes qui produisent les fers à acier destinés à l'exportation. Dans ce tableau, les fers sont rangés suivant leur prix sur le marché de Sheffield ; ces prix se rapportent aux dernières années antérieures à 1846. La base de ce classement peut changer, et, faute de connaître celle qui pourrait servir pour les dernières années précédant l'Exposition universelle, je m'abstiendrai de le reproduire, en remarquant seulement que les fers de Dannemora tiennent encore le premier rang, et que, parmi eux, on trouve au moins trois qualités de prix différents. »

Après eux viennent les fers provenant des minerais de Persberg, de Bispberg, de Langban, de Nordmark et Taberg, de Vintjern, de Norberg, de Nora, etc., comme fers à acier, avec une légère préférence en faveur de ceux de Bispberg et de Persberg.

On comprend qu'il n'est pas possible de donner une liste qui montre la valeur vraie des fers à acier : les intérêts particuliers pourraient se trouver lésés par une classification qui ne peut être immuable en face des efforts souvent heureux que chaque maître de forges fait pour améliorer ses produits, efforts qui portent soit sur la fabrication de la fonte, soit sur l'affinage et le réchauffage. On peut avoir une idée de l'attention que portent les Suédois dans toutes les questions relatives à la qualité de leurs produits en examinant le tableau des analyses de minerais comprenant cent vingt-cinq espèces différentes, qui accompagnait l'excellente brochure publiée par M. Rinman, directeur délégué du Comptoir des fers (Jern-Kontoret) à l'Exposition. Dans ce tableau, on trouve pour chaque minerai employé par les usines suédoises, sa teneur en fer, en oxyde de fer, en gan-

Digitized by Google

gues, en phosphore, en soufre, en manganèse, cuivre, etc.; puis la composition des gangues en silice, alumine, chaux, magnésie, oxyde de manganèse, acide titanique, oxyde de cérium, etc., et le rapport de l'oxygène des acides à l'oxygène des bases dans la partie fusible du minerai. D'après ce tableau, le minerai le plus phosphoreux est celui d'Abrahams à Grangaerde (1,27 pour 100); ensuite vient celui de Hertigen af Upland à Gellivara (0,74 pour 100). Les moins phosphoreux sont ceux de Dannemora (0,002 à 0,003 pour 100). On peut, comme le dit M. Rinman, constater en étudiant ce tableau que le prix courant des fers à acier donné par M. Leplay et où ils sont rangés d'après les prix, donne à peu près le même ordre qu'une classification basée sur la teneur en phosphore des minerais employés.

Les fers à acier ont une valeur marchande qui varie, pour les 100 kilogrammes rendus à Sheffield, par exemple, depuis 83 francs, coût des premières marques de Dannemora, jusqu'à 35 francs environ, coût de certains fers fabriqués avec les minerais de Nordmark, Utœ, par exemple.

Les fers destinés à la tréfilerie ont aussi des prix variables. Ils se vendent soit en massiaux ou loupes cinglées, coupées sous le marteau et mises sous forme de prismes à angles aplatis, soit en billettes ou massiaux réchauffés et étirés en fer carré de 45 à 60 millimètres. Les massiaux coûtent 19 à 20 francs les 100 kilogrammes *franco* à bord, à Stockholm, et les billettes 22 à 23 francs. Sous forme de barres marchandes, le prix s'élève jusqu'à 30 francs et au delà, comme on l'a vu par les quelques prix indiqués plus haut.

Résistance des fers de Suède. — On connaît la réputation des fers de Suède au point de vue de la ténacité et de la douceur. L'Exposition présentait deux documents intéressants sous ce rapport : c'étaient des tableaux d'expériences faites par M. Kirkaldy, l'expérimentateur anglais bien connu, sur les billettes de Degerfors et sur les fers de Gammelbo. Voici quelques chiffres extraits de ces tableaux et convertis en mesures françaises (1).

(1) Ces chiffres sont relatifs seulement à l'extension et à la compres-

Digitized by Google

FERS DE DEGERFORS.

1° *Résistance à l'extension. Longueur égale à 9 diamètres.*

	1re espèce (4 exp.)	2e espèce (3 exp.)	3e espèce (5 exp.)
Charge par millimètre carré correspondant :			
à la limite d'élasticité..	13k,7	12k,8	13k,1
à la rupture.	29 ,8	29 ,4	29 ,8
Rapport des deux charges	0,459	0,436	0,446
Contraction de la section de rupture.	0,729	0,688	0,692
Allongement permanent à la rupture.	0,408	0,395	0,377
(La rupture se fait lentement.)			

2° *Résistance à la compression. Longueur égale à 1 diamètre.*

Charge finale par millimètre carré .	70k,3	70k,3	70k,3
Raccourcissement permanent final .	0,291	0,299	0,304
(Le fer se renfle, mais sans criquer.)			

FERS DE GAMMELBO.

1° *Résistance à l'extension. Expériences sur barres carrées de 50 millimètres tournées à 38 millimètres, longues de 380 millimètres* (10 *diamètres*).

Charge moyenne de rupture par millimètre carré de la section primitive	29k,6
Contraction de la section de rupture pour 100.	73 ,9
Charge moyenne de rupture par millimètre carré de la section de rupture	115,2
Allongement final, pour 100	24,6
(La cassure est nerveuse, à nerf fin et mou.)	

2° *Résistance à la compression. Longueur égale à un diamètre. Quatre expériences sur des bouts de barres carrées de 50 millimètres, tournées à 38 millimètres.*

Charge finale par millimètre carré.	104k,6
Raccourcissement permanent final	0,454
(Une barre n'a pas criqué ; les trois autres ont criqué légèrement.)	

Depuis l'Exposition de 1867, M. Knut Styffe, directeur de

---

sion ; ceux relatifs à la flexion se traduiraient difficilement faute de quelques données.

Digitized by Google

l'Ecole polytechnique de Stockholm, a publié ses intéressantes recherches sur l'élasticité, la ductilité et la résistance vive du fer et de l'acier (*Jernkontorets Annaler*, 1866). Nous en extrayons quelques chiffres relatifs aux fers suédois qui se sont montrés les plus résistants à l'extension :

A. *Fer laminé fabriqué par la méthode comtoise à Aryd, en Smaland*, 0,07 pour 100 de carbone.

B. *Fer laminé fabriqué par la méthode du Lancashire, à Lesjœfors, en Wermland*, 0,06 pour 100 de carbone et 0,022 pour 100 de phosphore.

	A	B
Charge par millimètre carré, à la limite d'élasticité	26k,3	17k,1
Charge de rupture par millimètre carré de la section primitive . . .	46 ,2	31 ,6
Charge de rupture par millimètre carré de la section de rupture . . .	91 ,0	135 ,6
Rapport entre la charge de rupture et celle correspondant à la limite d'élasticité.	1,61	1,85
Rapport entre la section de rupture et la section primitive	0,51	0,23
Allongement final à la rupture . . .	14,1 %	22,0 %

Les deux fers laminés expérimentés par M. Knut Styffe sont plus résistants que les fers bruts martelés expérimentés par M. Kirkaldy. On peut aussi remarquer que le fer obtenu par la méthode comtoise est plus résistant et moins ductile que celui obtenu par la méthode du Lancashire.

Ordinairement, la présence de quelques traces de phosphore élève la limite d'élasticité, ainsi que celle de rupture, et augmente aussi la dureté du fer ; mais elle diminue sa ductilité.

M. Styffe a fait de nombreuses expériences relatives à l'influence de la chaleur et des teneurs en carbone et phosphore, sur la résistance et sur l'élasticité du fer et de l'acier. Il est fâcheux que son mémoire n'ait pas encore été traduit en français.

FOURNEAUX A GAZ DES FORGES SUÉDOISES. — Les bas foyers

Digitized by Google

employés, soit pour l'affinage dans chacune des cinq méthodes usitées, soit pour le réchauffage, ne présentent pas de particularités bien saillantes, et nous n'y reviendrons pas. Il en est autrement des fours à réchauffer au gaz connus sous le nom de *fours système C. Ekman.*

Les fours système Ekman, dont on trouvera un dessin dans la traduction française du livre de M. Percy (t. IV, p. 110 et suiv.), ne sont autres que des fours à réverbère à voûte très-rapprochée de la sole, chauffés par le gaz provenant d'un gazogène soufflé accolé à cette sole.

Ce gazogène, ou *athanor*, comme l'appellent les Suédois, a la forme d'un cylindre ou d'un prisme rectangulaire vertical qu'on alimente par le haut de charbon de bois à l'aide d'une trémie à double registre, trémie qui permet d'introduire le combustible sans laisser l'intérieur du gazogène en communication avec l'atmosphère. L'appareil est soufflé par un nombre plus ou moins grand de tuyères généralement disposées en deux étages superposés. La combustion se fait dans le gazogène de haut en bas ou à flamme renversée ; le combustible arrive froid par le haut dans la zone de combustion placée devant les tuyères, puisque les gaz produits dans cette zone se dirigent vers le bas pour s'échapper sans traverser les couches de combustible frais, mais en passant au contraire à travers et au-dessus du combustible incomplétement brûlé devant les tuyères dont la combustion s'achève à la partie inférieure. Il en résulte que le courant gazeux, qui se dirige vers le pont de chauffe, où il sera enflammé pour chauffer le laboratoire, ne se compose pas seulement d'oxyde de carbone et d'azote, mais comprend une proportion assez notable d'acide carbonique. Pour diminuer la proportion d'acide carbonique, Ekman avait imaginé de chauffer le vent injecté en lui faisant traverser une enveloppe à double paroi placée autour de la zone de combustion ; dans des appareils un peu plus récents, on chauffe le vent dans un véritable appareil à air chaud placé dans la cheminée du four à réverbère, et on lui donne ainsi une température de 100 à 150 degrés. On comprend aisé-

Digitized by Google

ment que le bois non carbonisé ne peut pas être employé dans ce gazogène : le vent, en arrivant au milieu d'une masse de bois encore froide, et contenant tous les éléments volatils, donnerait une combustion à température relativement basse, le courant gazeux entraînerait des quantités considérables d'acide carbonique et de vapeur d'eau. Il faudrait injecter dans un pareil gazogène du vent à une très-haute température pour compenser l'abaissement de température causé dans la zone de combustion par le départ des éléments volatilisables du bois. Les gazogènes système G. Ekman sont toujours alimentés avec du charbon de bois, ou quelquefois avec du charbon de bois mélangé de deux cinquièmes ou de moitié de houille ; on ne peut employer une proportion plus forte de celle-ci, à cause de l'abaissement de température dans la zone de combustion et des embarras que sa propriété collante amène dans le gazogène.

On voyait à l'Exposition un modèle en petit du four G. Ekman exposé par l'usine de Kloster, et un autre modèle un peu plus grand exposé par M. Jacobson, de Filipstad. Dans le *four Jacobson,* dont on trouvera pl. XXIV, fig. 1, une élévation, il y a deux gazogènes placés l'un derrière l'autre et alimentés tous deux par du vent chaud provenant d'un appareil placé dans la cheminée. Le gazogène le plus rapproché du pont de chauffe est semblable à ceux que nous venons de décrire, et il est alimenté au charbon de bois. L'autre gazogène placé derrière a une trémie de chargement avec un cone distributeur mobile ; on y brûle de la houille ; les gaz qui en sortent par en bas traversent la base de la colonne de charbon de bois incandescent et s'y dépouillent des particules cendreuses qui pourraient venir souiller le fer. Les deux gazogènes avaient d'abord été inventés dans un autre but : on comptait brûler du bois vert dans le plus éloigné de l'autel, et on espérait décomposer la vapeur d'eau produite par le passage du courant de gaz à travers la base de la colonne de charbon de bois du gazogène le plus rapproché ; mais, comme on peut le comprendre, cette tentative n'a pas eu de succès pratique.

Digitized by Google

Chaque générateur possède à sa partie inférieure une porte de décrassage et deux petites tuyères qui assurent la combustion des résidus de charbon, de façon à fondre les cendres qu'on évacue tous les huit jours.

Le courant de gaz combustible, en quittant la base du générateur, remonte un peu pour arriver à l'ouverture surbaissée située entre le pont de chauffe et la voûte. Avant de s'y engager, il s'enflamme en rencontrant une rangée de jets verticaux de vent chaud, arrivant par des trous pratiqués dans la voûte ; ces jets sont dirigés de façon à ne pas rencontrer la maçonnerie, mais à arriver aux résidus d'escarbille qui couvrent le fond de la chauffe.

Au delà du pont de chauffe est la première chambre de chauffage où l'on introduit par quatre ou cinq petits ouvreaux latéraux les barres de fer à étirer ; celles-ci subissent un chauffage préparatoire dans une deuxième chambre ou sole, fermée par deux portes. Entre celle-ci et la cheminée se trouve encore une troisième chambre ouverte où l'on place les massiaux froids pour qu'ils s'échauffent un peu avant d'arriver dans la seconde chambre. Dans la partie la plus déclive de la première chambre se trouve un chio pour l'écoulement des scories. La cheminée contient un appareil à air chaud à serpentin ou quelquefois, comme à Kloster, elle est en tôle à deux parois, et le vent se chauffe en circulant entre ces deux parois.

Le *four à gaz* exposé par la forge de *Kloster* est plus simple d'établissement que ceux précédemment décrits : le gazogène est soufflé par une seule tuyère placée en arrière ; au-dessous est une porte pour le décrassage, et, quand on l'ouvre, il y a un tablier incliné à l'intérieur qui permet de décrasser sans arrêter le vent. On y brûle aussi un mélange de charbon de bois, de houille, de bois torréfié, avec du vent à 8 ou 9 centimètres d'eau de pression. Ce four à gaz était coté 2,572 francs.

M. de Celsing, de Flen Hellefors, exposait un spécimen d'un autre système de four à réchauffer au gaz, construit tout en fonte et très-massif. Dans ce four, le gazogène n'est pas

Digitized by Google

à flamme renversée ; il reçoit le combustible par en haut, et le vent par-dessous, dans une tubulure, où un clapet à cadran extérieur permet de régler son arrivée. Des regards en verre permettent de voir s'il y a encore du combustible dans le gazogène.

Dans les premiers fours à réchauffer du système Ekman, on obtenait par semaine de six jours 18,200 kilogrammes de fer en barres (50 à 100 millimètres sur 15) étirées au marteau, en brûlant 990 hectolitres, soit environ 12 870 kilogrammes de charbon de bois, avec un déchet de 15 pour 100 sur le fer. Depuis quelques années, la consommation de combustible est descendue à environ 4 hectolitres, soit 52 à 55 kilogrammes de charbon par 100 kilogrammes de fer en barres, et le déchet est inférieur à 12 pour 100.

Four a gaz de sciure de M. Lundin. — Dans le four Ekman, on ne peut employer d'autres combustibles que ceux qui sont plus ou moins complétement carbonisés. Les Suédois ont fait de grands efforts pour pouvoir appliquer le bois vert et la tourbe à l'alimentation de leurs foyers métallurgiques. Ils ont employé des fours à réchauffer chauffés au bois ou à la tourbe desséchée, et ressemblant plus ou moins aux fours carinthiens qu'a décrits M. Leplay. Depuis peu d'années, M. Lundin, habile maître de forges de Munkfors, est arrivé, à l'aide d'un appareil fort intéressant, dont l'Exposition présentait le modèle en petit, et dont je donne à la planche XXV le dessin d'ensemble accompagné de divers détails, à consommer même de la sciure de bois humide. Cet appareil n'est autre qu'un four à réchauffer chauffé au gaz et muni de régénérateurs ou chambres à briques Siemens. Les gaz sont produits par la distillation et la combustion incomplète de la sciure de bois dans un gazogène de forme particulière.

On voit en A (pl. XXV, fig. 1 et 2) le générateur dans lequel la sciure de bois arrive par une trémie de chargement *a*, c'est une chambre presque cubique en maçonnerie, partagée vers sa partie inférieure en deux portions par deux grilles sur lesquelles vient s'entasser la sciure. Le vent arrive en

Digitized by Google

b b, de façon à former deux séries de filets qui pénètrent la sciure de bas en haut.

La sciure employée renferme ordinairement 45 pour 100 d'eau hygroscopique, sans compter l'eau de combinaison. Celle qui est fraîche contient souvent 50 pour 100 d'eau hygroscopique. Quand elle en renferme 60 pour 100 (ce qui fait à peu près 80 pour 100 d'eau en tout), on ne peut l'employer seule ; il faut y mélanger des fragments de bois ou de la sciure sèche.

Les gaz s'échappent par un tuyau en briques vertical à une température de 400 à 420 degrés, et redescendent par un tuyau métallique *c*, où la température est ordinairement de 350 degrés environ (le plomb y fond facilement et le zinc quelquefois), dans l'appareil condensateur B. Celui-ci est une caisse rectangulaire en fonte ayant un appendice vertical à peu près cubique ; dans celui-ci sont disposés 1700 kilogrammes de fer en barres posées en couches horizontales à directions alternées, de façon à former un grillage multiple. A la partie supérieure de ce grillage et dans la partie horizontale de la caisse, des ajutages convenablement disposés injectent de l'eau froide à 2 degrés centigrades. Les gaz, qui, sortant du générateur, contiennent pour 100 parties en poids de gaz secs environ 35 parties d'eau vaporisée, se refroidissent considérablement et ne contiennent plus que 2 pour 100 de vapeur à leur sortie du condensateur. Voici leur compotion, d'après M. Rinman :

	En volume.	En poids.
Acide carbonique. .	11,8	19,60
Oxyde de carbone. .	19,8	20,80
Hydrogène.	11,3	0,87
Gaz des marais. . .	4,0	2,40
Azote	53,1	56,30
	100,0	99,97

M. Lundin a essayé d'enlever l'acide carbonique en injectant de l'eau de chaux au lieu d'eau pure dans le condensateur ; mais l'effet pratique a souvent été peu considérable.

Le condensateur est muni d'un trop-plein par lequel

Digitized by Google

s'écoulent par minute 70 litres d'eau chauffée à 30 degrés si on travaille avec un seul four de chauffage, ou le double environ si on travaille avec deux fours. On recueille toutes les semaines 164 litres de goudron.

Les ajutages d'injection d'eau présentent des particularités importantes. Le tuyau horizontal qui amène l'eau au-dessus du grillage en barres de fer peut tourner de 120 degrés en avant et en arrière, de manière à arroser partout au moyen de petits trous la surface de ces barres. Chacun des ajutages qui donnent l'eau dans la caisse fournit huit jets d'eau de 4 à 5 millimètres de diamètre. Chaque jet vient se pulvériser contre une pointe de cuivre dirigée vers son centre. Par ce moyen on obtient, comme on a vu, une condensation parfaite.

La pression des gaz dans les conduites est d'environ 3 millimètres d'eau; ils se dirigent par des tuyaux en tôle vers les fours à réchauffer. Ceux-ci sont au nombre de deux : l'un pour la première chaude des massiaux, l'autre pour le réchauffage des barres. Un clapet distributeur C permet d'envoyer les gaz à volonté à l'un ou à l'autre. Ces deux fours ont des laboratoires presque identiques, un peu plus étendus seulement dans le four de première chaude que dans celui de seconde chaude. Celui-ci présente six ouvertures pour l'introduction des barres, celui-là quatre ouvertures seulement. Les régénérateurs sont placés par paires de part et d'autre de la sole, et ils sont en majeure partie au-dessus du niveau du sol. Le chauffage des deux fours s'opère de la même façon, par la combustion du gaz provenant du gazogène à l'aide de l'air envoyé par une soufflerie.

Ainsi, pour le four de seconde chaude, un clapet dit *d'inversion*, placé du côté du gazogène, permet d'envoyer à volonté les gaz dans le régénérateur extrême de droite ou dans celui de gauche; un autre clapet d'inversion, placé du côté de la conduite de vent, permet d'envoyer l'air à volonté dans le régénérateur, qui est contigu à la sole à droite ou à gauche. Les gaz et l'air arrivant à droite traversent de bas en haut les régénérateurs, qui sont portés à une température de

Digitized by Google

1200 degrés par les flammes qui viennent d'y passer. Cet air et ces gaz, ainsi chauffés, s'enflamment à l'entrée du laboratoire, où ils fournissent une température évaluée à 3 100 degrés par M. Rinman ; ils sortent du laboratoire en se divisant en deux courants, et en traversant de haut en bas les deux régénérateurs de gauche, puis, revenant passer près des clapets d'inversion, ils se réunissent pour se diriger vers la cheminée d'appel, où leur température est de 300 degrés environ. On voit que c'est le système Siemens sans aucun changement.

L'emploi du système Siemens pour le chauffage avec des gaz provenant de bois vert avait été essayé précédemment en Suède ; mais il avait échoué, parce que le goudron et la cendre qui accompagnent toujours les gaz se déposaient sur les valves d'inversion et les empêchaient de tourner ; en refroidissant les gaz et en condensant les matières entraînées, M. Lundin a remédié à cet inconvénient.

D'après M. Rinman, les dépenses totales de construction pour un four chauffé par le système Lundin peuvent s'élever à 8 600 francs. On peut avec ce four étirer par an 1 700 tonnes de fer, en économisant 6 760 francs au moins si on alimente le gazogène avec du charbon de bois et tout autre combustible ordinaire ; cette économie sur les frais de réchauffage par le système Ekman provient de ce que les réparations du four sont moins importantes et de ce que la température est plus élevée. En employant de la sciure, qui n'a aucune valeur sur place (en Suède, les grandes scieries dépensent jusqu'à 8 700 francs par an pour se débarrasser de leur sciure), l'économie peut atteindre 22 000 francs.

Avec un four à six ouvreaux, on peut étirer par semaine jusqu'à 46 700 kilogrammes de fer en barres ordinaires, à l'aide de quatre marteaux frontaux (pesant chacun environ 400 kilogrammes). Aux forges d'Uddeholm, où le premier four de cette espèce a été construit en octobre 1865, le fer subit toujours deux fortes chaudes. Pour chaque tonne de fer, on consomme 37^{h},6 de sciure de bois flotté, correspondant à 190 kilogrammes de carbone, 190 kilogrammes d'eau combinée et environ 320 kilogrammes d'humidité. Le déchet

Digitized by Google

est moindre qu'au four Ekman, sans doute à cause de la haute température et de la rapidité de l'étirage. Lors des expériences de M. Rinman, la première chaude s'effectuait dans un ancien four Ekman et coûtait par tonne de fer en barres 12^{mc},5 de charbon de bois.

Le four de seconde chaude, système Lundin, ne fonctionne que depuis janvier 1866. On n'a plus alors consommé en tout que 6 à 8 mètres cubes de sciure pour l'étirage de 1 000 kilogrammes de fer, tandis que dans les fours EKman on employait 3 mètres cubes à 3^{mc},8 de charbon et quelquefois plus. Dans ces derniers, en tenant compte de la perte de carbone par la carbonisation du bois, on employait donc réellement 900 à1 000 kilogrammes, et même plus de carbone par tonne de fer. Les gaz brûlés, qui s'échappent à 300 degrés environ, contiennent environ 7 pour 100 d'eau en poids.

Dans les fours Ekman, avec du gaz de charbon de bois (celui-ci étant bon et sec, contenant seulement 8 pour 100 d'eau) brûlé à l'air froid, on a une température de 1394 degrés dans le gazogène et de 2 666 degrés dans le laboratoire. En employant l'air chauffé à 100 degrés, on obtient respectivement 1 473 et 2 757 degrés. Le gaz de charbon de bois contient seulement 1 pour 100 d'eau ; avec du bois séché à 100 degrés, on a un gaz plus humide que dans le four Lundin.

La durée des fours de chauffage paraît devoir être fort longue, et il faut l'attribuer à l'épuration du gaz, qui dépouille celui-ci de toutes les particules cendreuses éminemment fondantes qu'il renfermait. Au bout de huit semaines d'expériences, dit M. Rinman, l'épaisseur de la voûte (10 centimètres) n'avait diminué que de 6 à 9 millimètres, et les parois semblaient intactes. Il faut seulement renouveler tous les mois environ les deux ou trois assises supérieures des régénérateurs dans le four de seconde chaude, mais ce n'est point nécessaire dans le four de première chaude.

Voici, d'après un document authentique signé de M. Lundin, le roulement des fours à sciure de Munkfors pendant l'année 1866, comparé au roulement des fours à charbon de bois appartenant à la même société, celle d'Uddeholm.

Digitized by Google

ANNÉES.	CONSOMMATIONS. Temps en jours et heures.	CONSOMMATIONS. Massiaux. Tonnes.	FER détaché des massiaux et bouts de barres. Tonnes.	FER en barres étiré. Tonnes.	DÉCHET pour 100.	CONSOMMATION par 100 kilogrammes. Mètres cubes de sciure.	Mètres cubes de charbon de bois.	Kilogrammes de carbone non carbonisé.	Heures.	PRODUCTION hebdomadaire d'un four en fer étiré. Tonnes.
ANNÉE 1866.										
Four à sciure de Munkfors...	206,11	1 839,96	104,99	1 532,30	11,77	0,776	—	38	0,31	57,59
2 fours à charbon de Munkfors.	47, 2	325,62	18,20	269,94	12,19	—	0,376	97	0,85	20,64
Total.....	253,13	2165,58	123,19	1 802,24	—	—	—	—	—	—
Four à charbon de Stjernfors..	263, 8	1 024,08	54,12	885,90	12,18	—	0,446	115	0,75	23,29
— de Gustafsfors..	284, 4	1 076,77	46,68	893,53	13,26	—	0,477	123	0,75	22,22
MOYENNE DES QUATRE ANNÉES ANTÉRIEURES.										
Four à charbon de Munkfors..	274,21	1 067,72	54,35	889,87	12,19	—	0,376	97	0,75	22,34
— de Stjernfors..	259, 1	949,35	41,22	793,08	12,66	—	0,469	121	0,78	23,04
— de Gustafsfors.	264, 9	1 008,65	47,80	836,97	12,89	—	0,446	115	0,75	22,66

Digitized by Google

Ce tableau indique les résultats de la première année de marche du four à sciure. Les deux fours à charbon ont servi de fours de secours et n'ont fonctionné ensemble que lorsque le four à sciure exigeait une réparation.

Pendant le premier semestre, on a étiré 789t,13 de fer en barres, et pendant le second 1 013t,11, dont 557t,29 dans les trois derniers mois. On a donc travaillé pendant ce dernier trimestre sur le pied de 2 229t,14.

Le four Lundin, considéré isolément, a fourni pendant ces trois mois (cinquante-six jours et vingt heures de travail) 471t,18, ce qui correspond à 1 884t,74 tonnes par an, ou 8 tonnes et demie en vingt-quatre heures. Tout le fer a subi deux chaudes. Après chaque réparation on a étiré 304t,55.

On n'a pu observer régulièrement la consommation de sciure; mais, d'après des calculs consciencieux basés sur les résultats du second semestre, on peut l'évaluer à 7mc,76 par 1000 kilogrammes de fer. Pendant la dernière semaine, on n'a employé que 7mc,50.

Tant que la saison du sciage a duré, on a porté la sciure directement au four. D'après l'analyse, elle contenait 47 à 48 pour 100 d'eau hygroscopique et 48 kilogrammes et demi de carbone par mètre cube.

On n'a pas fait de pesage spécial qui ait permis de séparer les déchets dus aux fours à charbon et au four à sciure; mais on peut admettre que les premiers sont égaux à la moyenne des quatre années précédentes. Les petites différences qu'on remarque sur ces déchets proviennent de ce que la température étant plus élevée dans le four à sciure, le fer qui en sort peut être beaucoup mieux débarrassé des scories; mais il exige beaucoup de soins et d'habileté de la part du chauffeur pour que le déchet ne soit pas plus considérable qu'il n'est nécessaire.

La colonne qui comprend la consommation en carbone de bois non carbonisé a été établie en admettant que 1 mètre cube de charbon de bois contient en moyenne 128k,8 de carbone pur et que 50 pour 100 de la richesse du bois en carbone se trouvent perdus par la carbonisation. On a ainsi

Digitized by Google

la consommation réelle de carbone pour 100 kilogrammes de fer étiré.

Les résultats les plus récents cités par M. Lundin sont relatifs à une campagne de cent cinq jours (du 10 novembre 1866 au 18 avril 1867), pendant laquelle on a étiré 926t,06 de fer en barres avec un déchet de 12,04 pour 100 et une consommation de 7mc,60 de sciure par tonne de fer. Pendant l'une des semaines, on arriva à étirer 56t,18 de fer avec un déchet de 9,90 pour 100 seulement et une consommation de 6mc,17 de sciure. Le déchet que l'on obtient ordinairement maintenant ne dépasse pas 11 pour 100.

La pratique a démontré que toutes les parties de l'appareil sont faciles à manœuvrer et que le travail est régulier. Ainsi qu'on l'a déjà dit, le four à réchauffer a besoin de réparations toutes les cinq ou six semaines seulement, et elles s'exécutent en un ou deux jours au plus; ordinairement elles consistent seulement dans le changement de quelques couches supérieures des régénérateurs. Le condensateur n'est ouvert et examiné que deux ou trois fois par an. Le gazogène n'a pas besoin de nettoyage pendant le courant de la semaine, à moins que cette précaution ne soit nécessitée par l'emploi de sciure impure ou mélangée de sable; mais, même dans ce cas, il n'en résulte pas d'obstacle au travail. Ordinairement, on entasse contre les murs voisins tous les samedis, lorsque le travail est fini, les résidus agglomérés formés pendant toute la semaine, et on n'a besoin d'entreprendre un nettoyage complet et d'enlever ces rebuts que lorsqu'on répare les régénérateurs. Le tuyau qui conduit les gaz du gazogène au condensateur doit être nettoyé toutes les semaines; mais ce nettoyage peut se faire en marche. Du reste, avec des gazogènes plus grands, les nettoyages seraient bien moins fréquents.

Pour que la comparaison des résultats techniques du four à sciure avec le four à charbon soit sérieuse et consciencieuse, il faut qu'elle s'effectue dans des forges employant les mêmes procédés et ayant les mêmes règlements, au sujet du réchauffage, de l'étirage, de la réception, etc. C'est pour-

Digitized by Google

quoi on a donné dans le tableau ci-dessus des extraits des roulements des usines de Munkfors, Stjernfors et Gustafsfors, qui appartiennent à la même société. La forge de Munkfors a des charbons de meilleure qualité que les deux autres, ce qui explique la différence de consommation. On voit que le four à sciure a pu réchauffer 300 kilogrammes de fer avec la même quantité de combustible qui n'en eût réchauffé que 100 kilogrammes dans les fours à charbon.

Dans des forges munies de laminoirs, on augmenterait notablement la production d'un four à sciure de bois du système Lundin.

Nous nous contentons de donner ici la description et d'exposer les résultats pratiques du système Lundin, sans entrer dans aucune discussion relativement à l'économie du combustible. Nos lecteurs qui désireraient entrer dans ces détails pourront les trouver dans un mémoire de M. Vicaire (*Sur l'emploi des combustibles inférieurs dans la métallurgie du fer*), inséré dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, année 1868.

M. Lundin n'a fait, si l'on veut, que mettre en pratique, en appliquant la condensation aux gaz humides, les règles posées par Ebelmen notamment pour l'emploi des gaz. Mais il a le mérite considérable d'avoir démontré par des résultats industriels l'exactitude de ces règles et d'avoir ouvert une voie où il sera certainement suivi. Son système s'applique non-seulement à la sciure de bois ou au bois vert, mais aussi à la tourbe humide, et d'après les renseignements qui nous sont donnés par M. Rinman, il doit y avoir actuellement en Suède plusieurs forges qui travaillent au gaz de tourbe fraîche.

Marteaux des forges suédoises. — Les forges suédoises emploient pour l'étirage surtout des marteaux mus par des roues hydrauliques. Ces marteaux, dont le poids varie de 350 à 425 kilogrammes, sont pour la plupart du système dit *à soulèvement*, c'est-à-dire que le point d'application de la puissance qui soulève la tête se trouve placé entre cette tête et l'axe d'oscillation. On voyait à l'Exposition un modèle in-

Digitized by Google

téressant d'un marteau de ce système, exposé par le Comptoir des fers et construit par M. *C.-A. Angstrœm*. Nous en donnons le dessin à la planche XXXII, fig. 1 à 5.

Dans ce système de construction, la tête du marteau est traversée par deux manches divergents qui vont à leur autre extrémité s'assembler au moyen de frettes avec une sorte d'essieu à section méplate. Les deux pointes de cet essieu tournent dans des cavités ou sortes de paliers placés dans des bâtis latéraux en fonte, et dont on peut régler la hauteur au-dessus de la chabotte et du sol de l'usine. La bague à cames portée par l'arbre de la roue, qui est parallèle à l'essieu, agit par quatre cames garnies de bois sur un mentonnet également garni de bois et qui se trouve à l'arrière de la tête symétriquement entre les deux manches. La chabotte est entaillée pour laisser passer les cames de la bague, qui en est assez rapprochée. Le rabat se compose de deux pièces de bois solidement reliées entre elles à une extrémité de façon à former une sorte de ressort fourchu qui est fixé à une entretoise transversale des deux bâtis de fonte. La pièce supérieure est tendue au moyen de deux tirants en fer qui viennent s'ancrer dans la maçonnerie de la base. Les deux bâtis en fonte sont reliés aussi en bas par deux entretoises en fer. Au repos, les manches du marteau sont dans un plan horizontal.

Cette disposition est meilleure que celle usitée dans nos anciennes forges françaises.

On trouvait encore dans la section suédoise le dessin à grande échelle d'un *marteau à soulèvement en fonte* projeté par M. l'ingénieur *Stevanson*. Nous le reproduisons à la planche XXXII, fig. 6 à 9; mais nous croyons que sa forme présente peu de garanties de stabilité et de solidité.

Données économiques. — D'après M. Rinman, la force motrice nécessaire pour un feu de forge est de 8 chevaux pour l'étirage et de 5 chevaux pour la soufflerie; on peut ainsi produire annuellement 185 tonnes de fer.

Lorsqu'on réchauffe le fer au charbon de bois, il faut compter en tout une consommation de 120 kilogrammes au

Digitized by Google

moins de charbon par 100 kilogrammes de fer en barres. Mais en employant des fours à gaz, on diminue beaucoup la consommation de combustible. Seulement, pour conserver un four à gaz en marche continue et régulière, il faut une production d'environ 600 tonnes par an, et par suite au moins trois feux d'affinerie et trois marteaux, soit une force motrice de 50 chevaux environ.

Si l'on étire au laminoir (il y a vingt laminoirs en Suède), ce qui entraîne une production annuelle de 1 200 à 2 000 tonnes et plus, on économise encore mieux la force motrice et le combustible.

Toutefois on ne peut pas compter moins de 100 kilogrammes de charbon par 100 kilogrammes de fer en barres, ce qui exige, vu que le déchet de la fonte pour obtenir du fer en barres est de 25 pour 100 environ, un territoire forestier de 10 000 à 12 000 mètres carrés par chaque centaine de kilogrammes de fer en barres obtenus annuellement.

Nous indiquerons plus loin les prix de revient des fers de Suède en les comparant à ceux des fers au bois français de la Franche-Comté et du Berry.

En 1865, la Suède comptait neuf cent six feux de forge, répartis dans dix-huit provinces et concentrés surtout dans celles de Gefleborg, Storakopparberg, OErebro et Carlstad; ces forges occupaient cinq mille quatre cents ouvriers et ont produit 148 292 tonnes de fer, c'est-à-dire à peu près trois fois la production de la France. Les provinces de Stockholm, Skaraborg, Carlstad et OEstergœtland doivent acheter des fontes à celles d'Upsala, d'OErebro et de Storakopparberg.

La production de fer a beaucoup augmenté en Suède depuis une trentaine d'années. Nous donnons cette progression d'après M. Ljungberg :

1835	69 631	tonnes.
1848	97 480	—
1851	104 205	—
1855	119 298	—

Digitized by Google

1861	137 869	tonnes.
1865	148 291	—

Voici les exportations de fers de Suède en France, d'après les documents officiels suédois :

1844	417	tonnes.
1854	3 504	—
1863	7 728	—
1864	9 059	—
1865	9 200	—

Nous ignorons les chiffres des années suivantes, mais ils ont notablement augmenté depuis l'Exposition.

En 1865, la Suède a exporté en totalité 108 802 tonnes de fer, c'est-à-dire les deux tiers de sa production (1).

L'importance du commerce d'exportation est un des traits caractéristiques de la sidérurgie suédoise. Un autre est le peu d'importance des usines prises isolément ; l'absence de houillères a conduit à cet éparpillement de la puissance productive. Il en résulte aussi que chaque forge, n'ayant à s'occuper que de quantités relativement faibles, peut consacrer beaucoup plus de soins à la fabrication qu'on ne le pourrait dans une grande usine à la houille.

Forges norwégiennes.—La sidérurgie norwégienne produit annuellement (1863) environ 45 032 tonnes de fer en barres. Les forges sont au nombre de dix-sept ou dix-huit, réparties surtout dans la partie sud-ouest et sur la côte entre Christiania et Grimstadt. Elles travaillent presque toutes par la méthode à la Lancashire, avec le four Ekman et étirent le fer avec des marteaux ; il n'y a que deux laminoirs en Norwége (Moss et Laurvig).

Quelques-unes avaient exposé en 1867. La plus importante était la *forge de Fritzoë*, près Laurvig, qui, avec ses dépendances, comprend trois ou quatre marteaux et un lami-

(1) Le fret de Gothembourg pour tous les ports français est de 10 francs. Les frets moyens de Stockholm pour Marseille sont de 40 francs ; pour Nantes, de 20 à 21 ; pour le Havre, de 20 à 21, et pour Dunkerque, de 20 francs.

Digitized by Google

noir ; ses fers martelés ou laminés paraissaient d'excellente qualité ; un gros fer rond noué deux fois à froid ne présentait pas de criques.

L'*usine de Baerum*, qui possède aussi quatre marteaux et un laminoir (à Moss), exposait des fers martelés plats et carrés, avec des essais de torsion en tire-bouchon.

Les *forges de Cathrineholm*, à Fredrikshald, et de *Krogstad*, à Drammen, complétaient l'exposition norwégienne ; les dernières exposaient des tôles et des clous fabriqués à la machine.

Les fers norwégiens sont évalués à 356 francs la tonne dans les statistiques d'exportation. L'usine de Fritzoë, qui exporte beaucoup, surtout en Amérique (fers de clouterie et fers d'armes), cote ses gros fers de 40 à 60 francs les 100 kilogrammes, ses petits fers de 50 à 75 et ses tôles et plaques de 56 à 90 francs.

En 1865, la Norwége a exporté 4 800 tonnes de fer, surtout aux États-Unis et en Angleterre.

TROISIÈME SECTION

Russie, Autriche, Italie, Espagne et Portugal.

Dans aucun des pays dont il va être question, l'industrie des fers au bois ne nous présentera l'intérêt qu'elle possède en Suède. La Russie toutefois fabrique dans l'Oural des fers propres à la cémentation, et elle a fait autrefois concurrence à la Suède sur les marchés anglais ; mais maintenant l'importance de son exportation a diminué.

Empire de Russie. — Les forges russes ont, depuis un certain nombre d'années déjà, remplacé un grand nombre de leurs feux d'affinerie ou feux comtois par des fours à puddler chauffés au bois. Toutefois on rencontre encore de ces bas foyers où M. Leplay vit en 1846 affiner les fontes de l'Oural par la méthode qu'il appelle *sibérienne*, et qui, opérant dans un même foyer l'affinage et le réchauffage, traite à la fois jusqu'à 200 et 300 kilogrammes de fonte.

Les *usines de Nijni-Taguil* comprennent trente-huit feux

Digitized by Google

comtois et avaient exposé une loupe ainsi que des gros fers carrés et ronds présentant de belles cassures à grain. Les *forges de Kamsk* fabriquent des plaques de blindage avec des fers affinés au charbon de bois. Les *usines de Neviansk*, également dans l'Oural, exposaient du fer affiné coté à 1 rouble trois quarts le poud, c'est-à-dire 42 francs environ les 100 kilogrammes; le fer de Neviansk tient encore une place honorable sur les marchés de Sheffield. Les *forges d'Avzianopetrovsk* (gouvernement d'Orenbourg), de *Katav-Ivanovsk* (gouvernement d'Oufa), de *Votkinsk* (gouvernement de Viatka), complétaient l'exposition des fers au bois de l'Oural.

Les autres groupes n'exposaient guère que des fers puddlés.

En 1865, la Russie a encore exporté pour 3 736 000 francs de fer, soit dans l'Orient, soit en Angleterre et en Allemagne.

Empire d'Autriche. — Les parties montagneuses de l'Autriche, la Styrie et la Carinthie, étaient autrefois la patrie par excellence des procédés d'affinage de la fonte au bas foyer. M. Tunner, le professeur bien connu de l'École des mines de Leoben, a décrit un grand nombre de ces procédés dans sa monographie de l'affinage au bas foyer et de l'étirage au marteau. L'*affinage autrichien sur fond en scories* (*schwallbodenarbeit*) l'*affinage en brasque styrien* (*læscharbeit*) l'*affinage carinthien avec rôtissage* (*bratfrischschmiede*), l'*affinage styrien avec mazéage*, et bien d'autres systèmes encore florissaient en Autriche, il y a douze ou quinze années. L'Exposition ne nous a point appris quels sont ceux de ces procédés qui vivent encore, mais il était aisé d'y constater que l'affinage au bas foyer a perdu beaucoup de son importance, même dans les montagnes de la Styrie et de la Carinthie.

MM. Fürst frères exposaient des fers de tréfilerie fabriqués dans la *forge de Buchsengut*, près Bruck. Le prince de Schwarzenberg fabrique dans ses *forges de Murau et Thoerl*, soit par l'antique affinage en scories (*schwallarbeit*), soit par la méthode à la Lancashire avec fours à gaz et laminoirs, des

Digitized by Google

fers de clouterie, des fers à cémenter (850 tonnes par an). M. Andreas Tœpper exposait des fers fabriqués dans la *forge de Neubruck*, près Scheibbs, avec les forges au bois de Styrie, par la méthode autrichienne d'affinage au bas foyer avec sole en scories (*schwallbodenarbeit* ou *weichzerrennen*), qui consomme par 100 kilogrammes de fer 9 à 11 hectolitres de charbon de bois en faisant un déchet de 14 à 15 pour 100 sur la fonte. Le comte de Thurn possède aussi des fours et des marteaux dans son antique *usine de Schwarzenbach*, en Carinthie.

M. Franz Mayr a quelques feux d'affinerie dans les environs de Leoben et de Bruck en Styrie. Le comte Branicki a trois feux à ses *forges de Sucha*, près Oswieczim et onze autres dans leur dépendance de *Zawoja*. Il exposait des fers pris par la méthode dite d'*attachement* (*anlaufchmiede*) et des essieux forgés avec ces fers.

La Couronne possède aussi des forges au charbon de bois, *celles de Kiefer*, qui exposaient des fers et des aciers; mais elles sont en Bavière.

Le puddlage a pris une assez grande importance en Styrie et en Carinthie. Les fers au bois de Styrie et de Carinthie sont célèbres depuis des siècles pour leur excellence comme fers d'armes et de taillanderie.

Italie. — Le royaume d'Italie a possédé aussi, surtout dans les régions montagneuses de la Lombardie et du Piémont, de nombreux foyers d'affinerie alimentés au charbon de bois, et on en trouve encore une quantité assez considérable.

En 1861, d'après le rapport de l'ingénieur Perazzi, il y avait dans le Piémont vingt-cinq feux d'affinerie. En 1864-1865, d'après le rapport de M. Felice Giordano, on comptait en Italie quatre-vingts feux comtois, dont quarante-cinq ou cinquante en activité, et cent quatre-vingt-dix anciens bas foyers ou feux à la bergamasque.

L'antique méthode dite *bergamasque* était surtout employée dans les vallées lombardes, et c'est encore là qu'on trouve le plus grand nombre de feux. On y distinguait plu-

Digitized by Google

sieurs variétés : celles de *Lovere*, du *val Sassina* et du *bas val Camonica*. Elles ne diffèrent que par quelques détails ou pratiques locales. Toutes opèrent sur une charge de fonte considérable (300 à 400 kilogrammes) qu'on met d'abord en fusion lentement dans un bas foyer, puis on ralentit le vent, et on brasse la fonte qui se refroidit, avec des battitures ou scories riches ; on forme un nombre plus ou moins grand de *cotticci*, sortes de loups mélangés de fonte mazée et de scories ; on reprend ensuite un à un ces cotticci, et en les traitant soit dans le même feu, soit dans un autre, on achève leur affinage ; on obtient des massiaux qu'on transforme en barres en les réchauffant.

Ces méthodes bergamasques exigent une quantité considérable de combustible et ne sont pas économiques. Voici le prix de revient d'une tonne de fer obtenue dans le val Sassina par une méthode qui réduit à rien le déchet sur la fonte (par suite du fer fourni par les scories).

1 000 kil. de fonte, à 140 francs.	140 fr.	00
2 700 kil. de charbon, à 74 francs.	199	80
Main-d'œuvre et scories	40	20
Frais généraux et divers.	35	00
Total. . . .	415 fr.	00

Ailleurs on consomme un peu plus de fonte et un peu moins de combustible ; mais le prix de revient par ces méthodes anciennes est toujours élevé.

La fabrication au *feu comtois*, soit dans les vallées lombardes, soit en Piémont, est plus économique. Les feux sont à peu près les mêmes qu'en France, avec deux tuyères et une sole de réchauffage à la suite du feu. Voici le prix de revient, dans une forge du val d'Aoste, de 1 000 kilogrammes de fer en barres :

1 250 kil. de fonte à 165 francs.	201	francs.
1 400 (?) kil. de charbon de bois, à 60 francs.	87	—
Main-d'œuvre totale.	30	—
A reporter	318	francs.

Digitized by Google

Report. . . .		318	francs.
Montage du feu.	1 fr. 50		
Montage du marteau	1 50	6	—
Deux manœuvres.	3 00		
Outils et réparations		5	—
Surveillance, régie et imprévu.		9	—
Total.		338	francs.

L'affinage au bas foyer tend, en Italie comme ailleurs, à céder la place à des procédés consommant moins de combustible,comme le puddlage au bois, au gaz ou à la tourbe.

La méthode directe, qui s'est conservée longtemps dans les *feux liguriens* des environs de Gênes et Savone, y a complétement disparu maintenant. Toutefois on trouverait peut-être encore dans les Calabres quelques forges employant un procédé plus ou moins analogue au procédé catalan.

Les fers au bois de Lombardie étaient représentés à l'Exposition par les *forges de Premadio* (MM. Corneliani et Cᵉ), ceux de la Valteline par les *forges de Castro* (M. Gregorini), près de Lovere, par celles de *Pisogne* (M. Damioli) et celles de M. Glisenti, de Brescia. Les forges de Mme Mariette Gervasone, à Cogne, représentaient seules le Piémont. La Toscane exposait les fers au bois de *Follonica* et de *Cecina*. Les fers de Calabre, réputés pour l'artillerie, ne figuraient point.

Les fers comtois de Lombardie sont très-estimés et s'emploient surtout pour la tréfilerie; le fer de Premadio ne casse que sous une charge de 53 kilogrammes par millimètre carré, d'après l'ingénieur Biglia; ils se vendent 3 ou 4 francs par 100 kilogrammes de plus que le fer puddlé. Ceux du Piémont (val d'Aoste) se distinguent aussi par leur douceur et l'extrême facilité avec laquelle ils se laissent travailler à froid; leur résistance à l'extension est, d'après le professeur Giulio, de 42 kilogrammes par millimètre carré. Ils se vendent de 47 à 52 francs les 100 kilogrammes à Turin; les qualités qui servent à la fabrication des canons de fusil se vendent plus de 60 francs.

D'après M. F. Giordano, la production de l'Italie en fer

Digitized by Google

fabriqué au bas foyer était en 1864-1865 de 3 500 tonnes seulement.

Les *forges de la Tolfa et de Tivoli* (État romain) fabriquent du fer au bois par le procédé comtois et l'étirent en barres, en verges et en petit rond.

Espagne et Portugal. — Il était assez difficile de se faire une idée exacte de l'importance actuelle de la fabrication du fer au combustible végétal dans la péninsule espagnole. Les documents statistiques exposés se rapportaient à l'année 1862; d'après eux, il y aurait eu en Espagne, dans cette année, trois cent sept forges à la catalane, et quatre-vingt-cinq feux d'affinerie. La production totale de fer aurait été de 41 068 tonnes chacune valant 448 francs.

En 1863, d'après M. Denis de Lagarde, le nombre des forges à la catalane aurait baissé à deux cent soixante-neuf et la production se serait élevée à 53 026 tonnes ; mais nous pensons que ce dernier chiffre indique la production totale de l'Espagne en fers de diverses natures.

Nous ne pouvons donner aucune indication précise sur les progrès qu'a faits la sidérurgie depuis cette époque, ni sur l'état actuel de la fabrication des fers au charbon de bois.

La section espagnole à l'Exposition de 1867 présentait des fers martelés affinés au charbon de bois et provenant des *forges de Barbadilla* (province de Burgos), cotés 31 fr. 50 le quintal rendu à Burgos; des *forges de Sargalejos* (Corogne) ; des *forges de Checa* (Guadalaxara); des *forges de Beasain* (Guipuscoa), cotés 42 francs les 100 kilogrammes pris en forge ; des *forges de la Gloria et l'Infierno* (Logrono), cotés 44 fr. 60 les 100 kilogrammes ; des *forges du Pedroso* (province de Séville), et enfin des *forges de San José* (province de Tolède), sans compter quelques petits échantillons encore.

Des fers provenant de feux catalans étaient exposés dans la province de Gérone (Catalogne) par la *Société Maneja et Ce ;* dans la province de Leon, par les *forges de Llamas et de Portela*, près Ponferrada; dans la province de Teruel, par les *forges de Vallecillo ;* dans la province de Tolède, par

Digitized by Google

celle de *San José*, et enfin en Biscaye, par les *forges de Zornosa*.

Grâce à la richesse des minerais de fer, qui abondent dans certaines provinces espagnoles, les méthodes directes y sont très en vogue. Les *forges de San José* exposaient du fer provenant de boules affinées dans le creuset même du haut fourneau. Celles de *Santa Ana de Bolueta*, près Bilbao, exposaient des fers produits au moyen des gaz par le procédé Gurlt, qu'on trouvera décrit dans la *Revue universelle*, t. XIV, p. 606; pour 100 kilogrammes de fer, on consomme 275 kilogrammes de minerai cru à 60 pour 100 de fer et 175 kilogrammes de charbon de bois. MM. Ibarra frères et Cᵉ, propriétaires des *usines Carmen de Baracaldo* et *Merced de Guriero*, emploient le procédé Chenot, modifié par M. Tourangin; ils exposaient des éponges de fer et des barres martelées en provenant. Les continuateurs et imitateurs des procédés Chenot ont complétement modifié son système, si l'on s'en rapporte à la description donnée récemment par M. Mussy dans les *Annales des mines;* au lieu de fabriquer une éponge de fer par la réduction du minerai sans fusion dans un four à cuve pour reprendre ensuite cette éponge, la réchauffer et la cingler en éliminant les gangues à l'état de silicate de fer, il semble que maintenant on soit revenu au mode de travail des anciens *stückofen*, c'est-à-dire à la fabrication dans un petit haut fourneau d'une fonte blanche froide peu carburée, qu'on affine immédiatement dans le creuset sous le vent d'une tuyère plongeante; le creuset est amovible, et on peut ainsi retirer la loupe sans avoir à démolir la poitrine du fourneau, comme on le faisait autrefois. Les gangues transformées en laitiers sortent comme dans le travail ordinaire du haut fourneau. Nous ignorons si la modification spéciale du procédé Chenot employée par MM. Ibarra est celle que nous venons d'indiquer, ou si au contraire ils emploient encore le système Tourangin, dans lequel la cuve de réduction est flanquée de deux gazogènes soufflés qui lui fournissent les gaz réducteurs et fermée en bas par une grille que l'on enlève pour faire tomber l'éponge.

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, nous croyons qu'on économiserait tout autant le combustible et mieux le minerai en fabriquant de la fonte au haut fourneau, et la faisant arriver directement toute liquide dans des feux d'affinerie soufflés, mode de travail assez analogue. En effet, d'après M. Mussy, on consomme dans le procédé Chenot actuel, par 100 kilogrammes de fer en barres, 22 fr. 63 avec du charbon coûtant 6 fr. 50 les 100 kilogrammes, et du minerai coûtant 17 francs la tonne et rendant près de 50 pour 100 de fer. La fonte blanche chaude, fabriquée comme en Styrie, coûterait par 1000 kilogrammes de fonte :

2 080 kil. de minerai, à 17 francs. . . .	35 fr.	40
700 kil. de charbon à 6 fr. 50.	45	50
Main-d'œuvre, castine, frais divers. . .	15	00
Soit en tout. . . .	95 fr.	90

Cette fonte, reçue liquide dans le feu d'affinerie, comme dans les usines du pays de Galles, et affinée au charbon de bois, donnerait des massiaux qu'on pourrait réchauffer dans un four à reverbère à gaz (système Ekman ou Lundin) pour les étirer en barres, et ces barres ne coûteraient point 226 fr. 30 la tonne. En supposant même ces fontes traitées par la méthode comtoise, on aurait pour le prix de revient de 1 000 kilogrammes de fer :

1 300 kil. de fonte à 96 francs.	124 fr.	80
1 000 kil. de charbon de bois, à 65 francs.	65	00
Main-d'œuvre (comme en Franche-Comté).	20	00
En tout environ.	209 fr.	80

Les frais généraux et les frais d'entretien ne sont pas comptés dans les 226 fr. 30 calculés par M. Mussy.

La méthode directe, même avec des minerais riches, est loin de présenter les avantages économiques souvent préconisés par ses partisans ; et il est à remarquer que les pays où elle s'implante sont ceux où l'on ne sait pas traiter convenablement et économiquement les minerais riches au

Digitized by Google

haut fourneau. Ni les Styriens ni les Carinthiens ne se préoccupent de la méthode directe ; avec des minerais plus ou moins analogues à ceux de Bilbao ou de Rancié, ils fabriquent des fontes qui n'exigent que 700 kilogrammes de charbon par tonne de fonte, et des fers qui coûtent moins de combustible et de minerai que ceux de Bilbao ou de l'Ariége, tout en ayant une qualité égale. Il est à souhaiter que quelque maître de forges pyrénéennes, soit français, soit biscayen, vienne, en sortant de la routine actuelle, redonner à la sidérurgie de ces contrées la vitalité qui lui manque.

QUATRIÈME SECTION

Angleterre, Belgique, Suisse, Russie et Allemagne ; États-Unis d'Amérique.

Angleterre. — Les maîtres de forges anglais réservent l'affinage au bas foyer et au combustible végétal pour les fers destinés à la fabrication des fers blancs de première qualité (*charcoal tin plates*). Les usines qui s'y livrent sont toutes situées dans le pays de Galles.

Elles consomment des fontes grises au coke fabriquées soit à l'air froid, soit plus souvent à l'air chaud, avec les excellents minerais de la forêt de Dean ou du Somersetshire. Ces fontes grises sont d'abord finées dans des feux de finerie au moyen d'un coke pur, puis coulées directement dans des feux comtois. Là, on les mélange de scories et on effectue des soulèvements partiels, en brûlant du charbon de bois, jusqu'à affinage complet. La loupe cinglée au marteau est étirée au laminoir, ou bien seulement transformée en larget. Les réchauffages ultérieurs se font dans des feux soufflés au coke couverts d'une voûte et où le fer est plongé au milieu de la flamme et sans contact avec le combustible.

D'après M. Percy, pour faire 1 000 kilogrammes de barres brutes plates qu'on recoupe ensuite en largets, il faut 1 175 kilogrammes de fonte et 5h,7 de charbon de bois ; pour faire avec ces barres 1 000 kilogrammes de fer fini, il faut 1 200 ki-

Digitized by Google

logrammes de barres brutes et 625 à 700 kilogrammes de coke. Le coût du charbon de bois par tonne de fer est environ de 15 francs.

D'après MM. Gruner et Lan, il faudrait par tonne de fer brut 600 kilogrammes de charbon de bois coûtant 42 fr. 25, c'est-à-dire environ 30 hectolitres. Ces chiffres sont tout à fait en désaccord avec ceux de M. Percy, et nous les croyons trop élevés. En effet, dans l'affinage au feu comtois tel qu'il est employé par nos forges françaises, les neuf dixièmes du combustible sont consommés pendant la fusion de la fonte et le réchauffage des massiaux, ainsi que l'a constaté Ebelmen, et on ne consomme en tout que 50 hectolitres, soit 1 000 à 1 050 kilogrammes de charbon de bois par 1 000 kilogrammes de fer. De plus, si la tonne de charbon de bois, qui représente environ 50 hectolitres ou 5 mètres cubes, ne coûtait que 68 fr. 75 la tonne dans le pays de Galles, le charbon de bois serait meilleur marché en Angleterre qu'en Franche-Comté, où il coûte 15 francs le mètre cube environ ; ce qui nous paraît peu probable. Nous admettons plus volontiers l'exactitude des chiffres de M. Percy, d'où ressort 25 à 30 francs pour le prix du mètre cube de charbon dans la vallée de Neath.

Une usine anglaise représentait cette industrie des fers au bois du pays de Galles à l'Exposition ; c'était la *forge de Melyn*, à Neath, qui affine les fontes grises produites au coke à Cinderford avec les excellents minerais manganésifères de la forêt de Dean : les fers bruts y sont mis sous forme de largets de 16 centimètres de largeur sur 1 d'épaisseur. La grande *Société d'Ystalifera*, et l'*usine de Cwm Avon* exposaient aussi des fers blancs provenant de fontes au coke et à l'anthracite, affinées au charbon de bois.

Belgique. — Ainsi que le disait le catalogue officiel de la section belge, la forgerie au bois a complétement décliné dans les provinces de Namur, de Luxembourg et de Liége, où elle s'exerçait naguère sur une large échelle. On comptait en Belgique en 1845, cent trente-sept feux d'affinerie; en 1855, cent treize feux ; soixante-cinq en 1864, et actuel-

Digitized by Google

lement le nombre en est insignifiant. Trois forges : celle de *M. Alexandre Amand* à Bouvignes, près Dinant ; celle de *M. Edouard Amand* à Mettet, province de Namur et celle de *MM. Bonehill frères*, représentaient seules à l'Exposition les fers au bois belges employés pour la fabrication des armes.

Elles emploient toutes la méthode comtoise.

Suisse. — La Suisse comptait en 1851 trente feux comtois et produisait environ 12 000 tonnes de fers battus ; cette production doit être tombée maintenant à 8 ou 9 000 tonnes.

Les principales usines sont situées dans l'ancien évêché de Bâle (canton de Berne) et peu éloignées de la frontière française. Nous citerons seulement celles d'*Undervelier* et de *Bellefontaine*, où l'on affine au feu comtois les fontes grises produites au charbon de bois avec les minerais pisolithiques du Jura. L'usine d'Undervelier mérite d'être citée à cause de ses fours chauffés au gaz de tourbe, qui servent au soudage et à l'étirage des massiaux provenant des feux comtois ; on emploie donc dans cette usine une méthode de fabrication qui a de grands rapports avec la méthode wallonne des usines suédoises. Le four à gaz de tourbe d'Undervelier ressemble du reste jusqu'à un certain point au four Ekman ; son générateur est soufflé comme dans ce dernier et à combustion renversée.

Prusse et Allemagne du Nord. — Le royaume de Prusse avait en 1855 une production totale de 286 712 tonnes de fers de diverses natures, dont 45 920 tonnes de fers en barres au charbon de bois, soit 16 pour 100 environ.

En 1862, la production totale était devenue 404 020 tonnes, dont 21 227 tonnes de fers au bois, soit 5,25 pour 100 environ.

En 1866, la production totale était de 478 623 tonnes (après avoir dépassé 500 000 tonnes en 1865), sur lesquelles 9 916 tonnes de fers au bois, soit 2 pour 100 environ seulement.

On voit donc que la production de fers au bois a diminué en Prusse peut-être plus vite qu'en France, grâce aux ex-

Digitized by Google

cellentes qualités des fontes au coke de la Westphalie, du Hanovre, etc.

En 1867, le royaume de Prusse, comprenant les États annexés, a produit 522 070 tonnes de fers, dont 17 271 tonnes (3,1 pour 100 environ) de fers au bois. L'annexion des forges au bois du Hanovre et de la Hesse a fait augmenter la quantité de fers fabriqués au combustible végétal.

L'Exposition de 1867 était peu riche en fers au bois prussiens. La Silésie, les provinces de Posen et de Prusse, qui comptent encore cent trente-sept feux d'affinerie, parmi lesquels ceux des *usines royales de Wondolleck* et de *Neustadt-Eberswalde*, n'étaient pas représentées (1). Il en était de même de la Poméranie, du Brandebourg et de la Saxe avec leurs vingt-sept feux. La Westphalie, la province du Rhin et le Nassau qui comptent plus de trente feux, et où on trouve les *forges de Dillingen*, de *Geislautern*, de *Dillenburg*, d'*Alf*, etc., n'exposaient que quelques fers de Schœnthal (M. Harkort) pour outils, et des tôles au bois de Dillingen. Le Hanovre et la Hesse comptent trente et un feux d'affinerie, entre autres ceux des *usines royales de Rothehütte*, *Kœnigshütte* (Hartz), *Lippoldsberg*, *Holzhausen*, *Rosenthal* et *Bieber* (Hesse-Cassel), et n'avaient exposé que quelques fers médiocres du Hartz fabriqués avec des scories d'usines à cuivre (2).

Le royaume de Wurtemberg fabrique encore des fers au combustible végétal à Wasseralfingen et à Kœnigsbronn ; il n'avait rien exposé.

La Bavière exposait des fers et des tôles au bois des *forges de Trippstadt* près Kaiserslautern (Palatinat), cotés ceux-là à

---

(1) A Londres, en 1862, les forges silésiennes de Schreckendorf et de Rybnick avaient exposé des fers obtenus par la méthode dite *bohémienne*, et celles de Kreutzburg, des fers obtenus par attachement (*anlaufeisen*).

(2) En 1862, les forges d'Altenhunden, dans le pays de Siegen, présentaient des tôles, des barres laminées et des feuillards. Celles de *Michelbach*, dans le Nassau, et de *Hirzenhain*, dans la Hesse, avaient aussi des fers de qualité remarquable.

Digitized by Google

38 francs les 100 kilogrammes, et celles-ci à 52 francs les 100 kilogrammes, ainsi que des essieux forgés au marteau à 46 francs les 100 kilogrammes.

Il n'y avait rien ni de la Saxe royale ni du grand-duché de Bade.

États-Unis d'Amérique. — On emploie encore beaucoup le combustible végétal aux États-Unis pour la métallurgie du fer, et dans trois buts différents : 1° pour traiter par la méthode directe dans des bas foyers qu'on appelle *bloomery*, les riches minerais indigènes et en retirer du fer en loupes; 2° pour affiner la fonte dans des feux analogues aux feux comtois ; 3° pour fabriquer des fers forgés avec des riblons et des ferrailles. Les bloomeries sont assez répandues; en 1856 on en comptait deux cent quatre en feu, ayant produit dans l'année 28 650 tonnes de fer extrait directement du minerai ; en 1868, on a produit aux États-Unis, par la méthode directe, 36 320 tonnes de fer. La bloomery est un feu catalan auquel on a annexé des chambres de réduction, ou plutôt des carneaux de réduction où les flammes viennent passer et réduire préalablement en partie le minerai.

D'après des documents authentiques émanant de l'*Iron and Steel Association*, la Pensylvanie seule comptait, en 1864, soixante et onze forges, dont soixante-neuf en activité. Dans ces forges se trouvaient : 226 feux d'affinerie, 40 feux de mazerie, 21 bloomeries, 17 machines à vapeur, 147 roues hydrauliques et 118 marteaux. On y a produit 32 000 tonnes de blooms, 943 tonnes de barres, 1 968 tonnes d'essieux et pièces de forge, en tout 34 911 tonnes de fer en consommant 41 046 tonnes de fonte, 4 325 tonnes de ferrailles, 22 437 tonnes de houille et 2 904 296 boisseaux de charbon de bois (1 055 711 hectolitres).

La méthode directe est pratiquée, comme on le voit, sur une assez large échelle dans les bloomeries ; en outre elle a été essayée sous d'autres formes : le *procédé Renton*, dont nous avons parlé dans la première partie de cet ouvrage, et le *procédé Harvey* dans lequel la réduction du minerai s'opère sur la sole d'un four à réverbère, par exemple.

Digitized by Google

Les usines américaines avaient exposé des fers au bois de qualité supérieure, notamment celles de l'Alabama (*Briarfield*).

CINQUIÈME SECTION

Conclusion.

Après avoir terminé cette revue de la production des fers au combustible végétal dans les différents pays qui y prennent part, nous étudierons et nous comparerons les conditions économiques de cette production dans deux d'entre eux, la France et la Suède. Les fers au bois de Suède et surtout ceux produits par la méthode à la Lancashire, viennent en effet depuis 1867, grâce aux traités de commerce et aux facilités que donne le trafic des acquits-à-caution, faire sur notre marché intérieur une concurrence redoutable aux fers de Franche-Comté et du Berry.

La fonte d'affinage grise coûte, rendue dans les usines franc-comtoises, 130 francs environ lorsqu'elle provient des hauts fourneaux au coke du groupe méditerranéen ; elle revient à 160 francs au moins lorsqu'elle est fabriquée dans les hauts fourneaux au charbon de bois du pays. Nous admettrons un prix moyen, soit 145 francs.

En Suède, les prix des fontes d'affinage sont assez variés, suivant la qualité des minerais qui ont été employés. Les bonnes fontes ordinaires employées pour les fers de tréfilerie se vendent 80 à 90 francs la tonne aux forges, qui, ne les produisant pas, doivent en acheter. Les fontes de Dannemora pour fers aciéreux coûtent naturellement plus cher, au moins 100 francs. D'autres fontes au contraire coûtent moins de 80 francs.

Les charbons de bois employés pour l'affinage coûtaient naguère 17 francs le mètre cube (pesant à peu près 200 kilogrammes) en Franche-Comté ; l'extinction d'un certain nombre de hauts fourneaux a fait descendre le prix à 13 ou 14 francs le mètre cube rendu en forge.

En Suède, le prix des charbons de bois, pesant 142 kilo-

Digitized by Google

grammes le mètre cube environ, varie de 4 à 7 francs au plus le mètre cube. Nous adopterons le chiffre de 5 francs, qui correspond au prix de 35 fr. 20 les 1 000 kilogrammes, et qui est celui d'un grand nombre de forges.

Prix de revient comparés des fers battus en barres.

ÉLÉMENTS.	FRANCE.	SUÈDE.		
	MÉTHODE COMTOISE.	MÉTHODE WALLONNE.	MÉTHODE COMTOISE.	MÉTHODE DU LANCASHIRE.
Fonte consommée par 1 000 kilog. de fer.	1 300 kil.	1 295 kil.	1 198 kil.	1 280 kil.
Coût des 1 000 kilog. de fonte.....	145 fr.	100 fr.	90 fr.	80 fr.
Charbon par 1 000 kilog. de fer.....	1 040 kil.	3000 kil.	1 700 kil.	1 360 kil.
Coût des 1 000 kilog. de charbon.....	70 fr.	35 fr. 20	35 fr. 20	35 fr. 20
Nombre de journées par 1 000 kil. de fer.	5 jours.	5 jours 2	5 jours 1	5 jours 5
Production d'un feu par semaine.....	6000 kil.	8000 kil.	3500 kil.	11 000 kil.
Montant de la fonte par 1 000 kil. de fer....	188 fr. 50	129 fr. 50	107 fr. 82	102 fr. 40
Montant du charbon par 1 000 kilog. de fer..	72 80	105 60	59 84	47 87
Main-d'œuvre.....	22 »	20 »	20 »	22 »
Entretien et frais généraux.....	30 »	30 »	30 »	35 »
PRIX DE REVIENT DES 1 000 KILOG. DE FER..	313 fr. 30	285 fr. 10	217 fr. 66	207 fr. 27

Le prix de revient de la méthode à la Lancashire s'applique à des barres étirées au marteau après réchauffage dans un four Ekman. Si l'on voulait avoir le prix de revient des massiaux (pour lesquels on ne consomme que 700 kilogrammes de charbon par tonne de massiaux), il serait seulement de 145 francs environ les 1 000 kilogrammes.

On comprend donc comment les maîtres de forge suédois peuvent offrir les produits de la méthode à la Lancashire aux prix de 190 francs environ les 1 000 kilogrammes de mas-

Digitized by Google

siaux, *franco*, à bord, à Stockholm, de 220 francs les 1 000 kilogrammes de billettes carrées de 45 à 60 millimètres, et de 300 francs les 1 000 kilogrammes de barres octogones de 35 à 45 millimètres.

Les frets de Stockholm à Dunkerque, le Havre ou Nantes sont en moyenne de 20 francs les 1 000 kilogrammes.

Les barres à la Lancashire de Suède arrivent donc dans les ports français à 320 francs au plus, c'est-à-dire au prix de revient en forge des fers de Franche-Comté. Les maîtres de forges français, mal défendus par les droits de douane, grâce au trafic des acquits-à-caution, sont obligés ou de renoncer à la fabrication ou de vendre à perte.

CHAPITRE DEUXIÈME

FABRICATION DES FERS PUDDLÉS.

L'affinage de la fonte au four à réverbère, ou four à puddler, est aujourd'hui le procédé qui fournit à l'industrie la plus grande masse de fer. L'invention de Henry Cort (1784), perfectionnée par celle des soles en fonte (1818) due à Samuel Rogers, a permis de centupler peut-être le tonnage du fer produit en Europe, grâce aussi au secours fourni par les laminoirs, autre invention de Henry Cort. Moins heureux que M. Henry Bessemer, leur moderne émule, Cort et Rogers moururent dans la misère.

Le puddlage usité maintenant dans les usines à fer n'est plus le même que celui employé pendant les premières années. A l'origine du procédé, on puddlait la fonte sur une sole en sable sans la réduire à l'état liquide; on la faisait chauffer de façon à la diviser en grumeaux pâteux qu'on brassait et exposait à l'action de la flamme jusqu'à ce que le fer eût pris nature. Cette manipulation était difficile avec les fontes grises, qui attaquaient rapidement la sole en sable; aussi bientôt M. Homfray, de Tredegar, imagina de mazer les fontes grises au feu de finerie, et de ne traiter au

Digitized by Google

four à puddler que du *fine metal* ou de la fonte blanche peu carburée, qui prend nature plus vite et ne corrode pas le sable de la sole. Ce mode de puddlage est ordinairement dénommé, comme on sait, *puddlage sec*.

Plus tard, M. Hall, de Tipton, imagina de garnir la sole avec des matières moins attaquables, telles que des crasses et battitures, et d'affiner la fonte en la mettant tout à fait en fusion et en la brassant avec des matières décarburantes, c'est-à-dire des scories ou crasses plus ou moins riches en oxyde de fer. Ce mode de travail fut baptisé du nom de *puddlage bouillant* (*boiling process*), ou *puddlage gras*, ou *en crasses*. Les maîtres de forge en découvrirent bientôt tous les avantages; ils apprirent à se passer du finage.

Maintenant le puddlage bouillant est le seul employé dans les forges, et on l'applique aussi bien aux fontes grises qu'aux fontes blanches. On ne pratique plus le finage dans les feux de finerie que dans certains cas fort rares, quand on a affaire à des fontes très-siliceuses et phosphoreuses, par exemple.

Le puddlage bouillant, appliqué à des fontes pures, a permis d'obtenir au combustible minéral des fers d'une qualité comparable à celle des fers affinés au bois dans certains pays. Il n'en était pas de même avec le puddlage sec, qui fournissait toujours des fers mal débarrassés de scories, cassants à chaud et pailleux, à cause du peu de fluidité de ces scories dans le four. En employant des fontes très-carburées, manganésifères, et en ménageant les actions oxydantes, on est aussi arrivé à fabriquer au four à puddler des aciers de diverses duretés.

Au sortir du four, les boules sont cinglées pour être débarrassées des scories qu'elles renferment dans leurs cavités. Ce cinglage a été opéré avec divers outils appartenant tous à deux catégories : les marteaux et les presses. Ces dernières ont été employées sous bien des formes, depuis les squezers crocodiles jusqu'aux revolvers de Brown ; elles font beaucoup de besogne rapidement, mais leur travail est bien inférieur à celui des marteaux, qui opèrent par choc. Parmi

Digitized by Google

ces derniers, le marteau pilon à vapeur est celui qui est maintenant généralement préféré pour le cinglage.

Après le cinglage, l'étirage se fait entre les cylindres d'un train puddleur. Il est rare qu'on l'opère au marteau ; cependant quelquefois, à Lowmoor, par exemple, on effectue une sorte de demi-étirage sous le marteau en transformant les boules en plaques ou *slabs*. En France, nos anciennes usines champenoises avaient essayé autrefois d'utiliser leur ancien matériel en étirant avec des marteaux de côté les loupes puddlées et en effectuant les réchauffages nécessaires dans leurs anciens feux d'affinerie transformés en chaufferies à la houille ; mais ce procédé, que certains auteurs ont baptisé du nom de *méthode mixte champenoise*, n'a pu se perpétuer à côté du procédé ordinaire employant les laminoirs pour l'étirage, bien plus économique.

La transformation des fers puddlés en fers marchands ordinaires s'effectue toujours par l'ancienne méthode anglaise du paquetage suivi d'un réchauffage et d'un laminage.

Nous examinerons d'abord la production des fers puddlés dans divers pays, puis nous passerons en revue divers perfectionnements apportés à l'opération ou aux appareils de puddlage.

PREMIÈRE SECTION

Fabrication du fer puddlé en France.

Préliminaires. — Pour étudier les forges à la houille françaises, nous suivrons l'ordre que nous avons établi pour étudier la fabrication de la fonte dans la première partie de cette *Revue*, et nous y renverrons le lecteur pour ce qui concerne la nature et la qualité des matières premières.

Avant d'entrer en matière, il est peut-être intéressant de donner ici quelques renseignements sur l'introduction en France de la méthode, dite *anglaise*, de la fabrication du fer à la houille.

Nous avons déjà dit qu'en 1782, l'usine du Creusot avait été fondée pour mettre en pratique les procédés anglais de

Digitized by Google

fabrication du fer apportés en France par William Wilkinson. Celui-ci ne put achever son œuvre; la révolution de 1789 en effaça presque le souvenir. Ainsi que le disait M. Émile Martin dans une brochure publiée pendant l'Exposition, la guerre et le blocus continental élevèrent entre la France et l'Angleterre une barrière infranchissable; les inventions de Cort et la nouvelle fabrication du fer à la houille en Angleterre restèrent ignorées en France jusqu'en 1815.

Les forges anglaises, avec leurs procédés nouveaux, avaient développé la fabrication du fer dans des proportions jusqu'alors inconnues; mais la guerre avait accumulé leurs produits en leur fermant les débouchés du continent. Le gouvernement de Louis XVIII leva les droits d'entrée sur les fers anglais, et ce fut une nouvelle invasion étrangère.

Un ingénieur distingué, M. Dufaud, dont la réputation comme maître de forges brillait alors à côté de celle des Thénard, Darcet et Gay-Lussac, ses condisciples, avait inventé, vers 1812 ou 1813, sous le ministère de Chaptal, un procédé de fabrication du fer à la houille pour lequel il avait obtenu une récompense du ministère à la suite du rapport d'une commission d'officiers d'artillerie. Son procédé n'avait pas été appliqué. Il avait fondé et il dirigeait, à l'époque de la Restauration, l'usine de Montataire dans le département de l'Oise. Comprenant que la libre entrée des fers anglais serait de courte durée, il passa en Angleterre et y acheta 20 000 tonnes de fer dans un but de spéculation. Il profita de son séjour pour voir les procédés nouveaux des forges anglaises, et pénétra même, dit-on, comme ouvrier dans la grande usine de Cyfarthfa (pays de Galles). Avec ou sans l'acquiescement de M. Richard Crawshay, propriétaire de cette usine, il prit de nombreuses notes et des dessins qui le rendirent maître du nouveau système de fabrication. Trois mois s'étaient écoulés, la libre entrée des fers anglais ruinait les forges françaises; les droits sur les fers étrangers furent rétablis. En 1817, M. Dufaud monta le procédé anglais dans la petite forge de Trézy (Nièvre), dont le succès détermina la construction des forges de Fourchambaud

Digitized by Google

en 1820, avec l'association de M. Boigues. Les sociétés du Creusot, d'Alais et de Decazeville suivirent.

La production de la France en fers à la houille, résumée dans le tableau suivant, qui donnera une idée de la marche du développement de la nouvelle industrie en France, a été, d'après la statistique des ingénieurs des mines :

En 1819.	1 000	tonnes.
En 1822.	15 000	—
En 1826.	40 583	—
En 1836.	99 640	—
En 1846.	254 325	—
En 1856.	463 699	—
En 1864.	706 025	—

Groupe du Sud-Est. — *L'usine du Creusot* est encore la première que nous devions mentionner, à cause de son importance et du mérite de sa fabrication. En 1867, elle occupait trois mille cinq cents ouvriers à la production du fer et pouvait obtenir annuellement 110 000 tonnes ; sa production totale de fer de 1837 à 1867 avait été de 950 000 tonnes.

MM. Schneider et Cᵉ ont récemment reconstruit complétement à neuf leur fabrique de fer. Dans la nouvelle forge, dont le modèle et les plans figuraient à l'Exposition, on comptera : 130 fours à puddler, 85 fours à réchauffer, 15 trains de puddlage, 26 trains pour fers marchands et tôles, 30 marteaux pilons, 25 machines motrices pour les trains et 60 machines diverses pour ventilateurs, pompes alimentaires, cisailles, scies, presses à dresser, etc. Ces 85 machines représentent une force totale de 6 500 chevaux-vapeur.

On trouvera dans le *Propagateur des travaux en fer*, t. I, les plans de cette nouvelle forge, remarquable par sa disposition rationnelle et commode et par sa couverture complétement métallique.

Les fours à puddler sont à circulation d'air ou d'eau ; leurs flammes perdues chauffent des chaudières verticales. Le cinglage est effectué par des marteaux pilons. Les trains puddleurs sont commandés par groupes de deux par des machines à vapeur horizontales de 200 chevaux.

Digitized by Google

On a vu qu'au Creusot on fabriquait sept qualités différentes de fontes d'affinage. Ces fontes puddlées donnent sept qualités correspondantes de fer, qui étaient exposées.

Le fer qualité n° 1, qu'on obtient à grains, à nerf ou métis, provient de minerai de Mazenay pur. Il est très-soudant, dur à froid, et on l'emploie pour la fabrication des rails et pour quelques applications analogues. Il coûte 10 francs de moins par tonne que le cours du fer ordinaire. On assure qu'en puddlant de la fonte blanche pour fer à rails, on passe onze charges dans une tournée de douze heures, c'est-à-dire 2 500 kilogrammes environ dans un four desservi par un puddleur et deux aides, ce qui est un résultat peu ordinaire.

Le fer qualité n° 2, ou fer ordinaire du Creusot, est analogue au fer du Staffordshire. On exposait une loupe cinglée, des barres et des plaquettes de fer brut, et aussi des spécimens de travail à chaud sur des tôles, des fers et des cornières. Ce fer se vend au cours des fers marchands ordinaires

Le fer qualité n° 3 est analogue au *best* du Staffordshire. On en exposait aussi des cassures à grain et à nerf, et des spécimens de travail à chaud, prouvant une qualité déjà remarquable. Il coûte 25 francs par tonne de plus que le fer ordinaire.

Le fer qualité n° 4, équivalent au *best-best* du Staffordshire, montre un nerf plus soyeux que les précédents. Il se travaille bien à chaud et se corroie avantageusement. On le vend 50 francs par tonne de plus que le fer ordinaire.

Le fer qualité n° 5, comme le *best-best-best* du Staffordshire, coûte 90 francs par tonne de plus que le fer ordinaire. Il présente un grain et un nerf également beaux.

Le fer qualité n° 6 est assimilé aux fers au bois et à ceux du Yorkshire (Lowmoor et Bowling). On pouvait voir à l'Exposition les magnifiques cassures à grain fin du fer de cette catégorie soit corroyé, soit martelé, soit martelé et étiré, de même que des exemples de filetage, des pliures à froid et des essais de travail à chaud. Le fer n° 6 coûte 140 francs par tonne de plus que le fer ordinaire.

Digitized by Google

Le fer qualité n° 7, qui coûte 200 francs de plus que le fer ordinaire, est d'une qualité tout à fait exceptionnelle ; sa cassure est soit à fin grain avec des arrachements, soit avec un nerf soyeux. On exposait des spécimens de travail à froid, indiquant une ductilité et une malléabilité surprenantes, des tôles embouties sous les formes les plus compliquées de chapeaux, de casques, de boulets creux, un dôme de prise de vapeur (en tôle n° 6) pour locomotive, des tôles de face avant, sans parler d'une série de pliages et de torsions à froid et à chaud.

La *Compagnie des fonderies et forges de Terrenoire, Lavoulte et Bességes* possède des ateliers de puddlage à Terrenoire, à Lorette et à Bességes, comprenant en tout 58 fours à puddler, 7 marteaux pilons et 4 trains de puddlage, sans compter 34 fours à réchauffer et 17 trains de laminoirs divers : la fabrication du fer y occupe 22 machines à vapeur, représentant ensemble 1 315 chevaux et 1 955 ouvriers. Elle a produit, en 1855, 33 500 tonnes de fers divers et en 1867 50 000 tonnes.

Cette compagnie exposait la série complète de ses produits, accompagnée de tableaux d'analyses chimiques et d'essais de résistance.

Ses fers appartiennent à cinq catégories différentes :

1° Les *fers ordinaires à grain*, qualité spécialement destinée aux rails et à quelques emplois spéciaux, tels que gros ronds pour vis de pressoir, etc. Ils proviennent de fontes blanches ordinaires ;

2° Les *fers ordinaires à nerf*, qui sont les fers courants du commerce, de qualité analogue au *best* du Staffordshire. Ils proviennent de fontes truitées et blanches. Ils se plient à froid très-convenablement et, quoique non destinés à subir à chaud des travaux difficiles, supportent encore quelques emboutissages ou essais simples ;

3° Les *fers mixtes*, provenant de fontes supérieures grises, qui ont une qualité analogue aux fers forts du Nord et de la Belgique ou au *best-best-best* du Staffordshire. Ils sont très-nerveux à froid, comme le montraient divers essais, et s'ap-

Digitized by Google

pliquent à un grand nombre d'emplois à chaud. On les cotait 60 francs par tonne de plus que les fers ordinaires.

4° et 5° Les *fers supérieurs à grain* ou *à nerf*, cotés 150 fr. par tonne de plus que le fer ordinaire, de qualité comparable, pour les emplois à chaud et à froid, aux fers au bois. Cette qualité est destinée aux emplois de la marine, des chemins de fer et des constructions mécaniques.

L'usine de Terrenoire possède une machine à presse hydraulique pour les essais de fers et d'acier à la traction et à la torsion. Moins discrète que les usines du Creusot, elle exposait une série de tableaux fort intéressants sur ces essais. Nous les résumons ci-après, en avisant d'abord le lecteur que les essais sur fers en barres s'appliquent à des sections rondes tournées de 25 millimètres de diamètre, et les essais sur fers en tôles à des sections rectangulaires de 12 sur 40 millimètres.

DÉSIGNATION.	FER EN BARRES ordinaire		FER MIXTE.	FER EN BARRES supérieur	
	à grain	à nerf.		à nerf.	à grain.
Section d'essai en millim. carrés....	490	490	490	494	490
Poids en kil. supporté sans allongement permanent.	8 720	7 500	8 000	8 500	8 470
Poids de rupture en kil.....	17 880	15 900	16 850	17 200	17 810
Longueur essayée en millim.....	200	200	200	200	200
— à la rupture en millim...	226	239	240	254	242
Poids en kil. par millim carré supporté sans allongement permanent.	17,8	15,3	16,3	17,2	17,3
Poids en kil par millim. carré à la rupture.....	36.5	32.5	34,4	34,9	36,4
Allongement pour 100.....	13	19.5	20	27	21

DÉSIGNATION.	FER ORDINAIRE A NERF. Tôle tirée		FER MIXTE. Tôle tirée	
	dans le sens du laminage.	perpendiculair. au laminage	dans le sens du laminage.	perpendiculair. au laminage.
Section d'essai en millim. carrés....	478	489	498	490
Poids en kil. supporté sans allongement permanent.....	8 720	9 200	9 550	9 500
Poids de rupture en kil.....	14 600	12 950	16 700	14 290
Longueur essayée en millim	200	200	200	200
— à la rupture en millim....	219	206	233	212
Poids en kil par millim. carré supporté sans allongement permanent.	18,2	18,8	19,2	19,4
Poids en kil. par millim. carré à la rupture	30,5	26,4	33,5	29,2
Allongement pour 100.....	9,5	3	19	6

Digitized by Google

DÉSIGNATION.	FER SUPÉRIEUR A NERF. Tôle tirée		FER SUPÉRIEUR A GRAIN. Tôle tirée	
	dans le sens du laminage	perpendiculair. au laminage.	dans le sens du laminage.	perpendiculair. au laminage.
Section d'essai en millim. carrés. ..	531	530	511	525
Poids en kil. supporté sans allongement permanent.....	10 200	9800	12 200	11 000
Poids de rupture en kil.	18 320	17450	18 900	17 800
Longueur essayée en millim.....	200	200	200	200
— à la rupture en millim....	252	216	242	225
Poids en kil. par millim. carré supporté sans allongement permanent	19,2	18,5	23,8	20,9
Poids en kil. par millim. carré à la rupture.....	34,2	32,8	37	33,8
Allongement pour 100.....	26	8	21	11,5

Si l'on se reporte aux chiffres obtenus par MM. Kirkaldy et Knut Styffe sur les fers de Suède, on voit que les fers supérieurs de Terrenoire leur sont tout à fait comparables pour la résistance à la traction.

Dans le bassin houiller de la Loire se trouvent encore d'importants ateliers de puddlage dans les *forges de MM. Petin Gaudet et C°, à Saint-Chamond*, dans celles de *MM. Verdié et C°, à Firminy*, de *MM. Holtzer et Dorian, à Unieux*, de *MM. Marrel frères, à Rive-de-Gier*; mais il ne sort de ces établissements considérables comme produits finis que des pièces de matériel de chemins de fer, des pièces de forge et des aciers.

MM. Thiollière et C°, des *forges d'Onzion*, ont la spécialité des feuillards, des fils de fer et des pointes provenant de fers à la houille, et avaient exposé un assortiment de ces produits ; ils travaillent des fontes du bassin de la Loire.

Les *forges d'Alais* (Gard) comptent 30 fours à puddler, 3 trains de puddlage, 20 fours à réchauffer et 4 trains divers de laminoirs. On y voyait encore naguère 3 feux de finerie, l'usine d'Alais ayant été une des dernières à abandonner cette ancienne pratique du finage. Elle fabrique aussi diverses espèces de fers ; des fers à rails, des fers ordinaires et des fers fins marqués Ω provenant de fontes supérieures (dans la fabrication desquelles entre le blackband de Palmesalade) ; ces derniers, cotés 40 francs par tonne de plus que

Digitized by Google

les fers ordinaires d'Alais, sont de qualité supérieure pour la maréchalerie et la serrurerie. L'usine d'Alais produit aussi des chaînes câbles pour la marine qui subissent les épreuves exigées par la marine impériale, c'est-à-dire un effort de traction de 22 kilogrammes par millimètre carré : aussi ces chaînes ont-elles sur le port de Marseille une juste réputation. MM. Harel et Ce, gérants des *usines de Givors et de Pont-Evêque* (Isère) exposaient aussi des fers marchands de bonne qualité.

Les importantes *forges de l'Horme*, près Saint-Chamond (Loire), qui possèdent près de trente fours à puddler, n'avaient rien exposé.

Pour donner une idée de ce qu'est le puddlage des forges françaises du groupe Sud-Est, nous donnons en tableau quelques résultats numériques relatifs à l'une d'entre elles, et qui sont intéressants en ce qu'ils font juger la différence de prix de revient des différentes sortes de fer produites dans une même usine, dans les mêmes fours et avec le même combustible.

DÉSIGNATION.	FER A RAILS.	FER ORDINAIRE	FER SUPÉRIEUR	FER FORT.	FER EXTRA.
Nombre de charges en douze heures	10,70	11,06	11,13	9,63	6
Production de fer par four en douze heures, en kil.	2211,00	2159,00	1982,00	1727,00	1016,00
Production de fer par charge, en kil	206,50	195,00	178,00	179,00	169,00
Consommation de houille par four en douze heures, en kil	1739,00	1695,00	1666,00	1617,00	1525,00
Consommation de houille par charge, en kil	162,50	153,00	150,00	168,00	254,00
Fonte par 1000 kil de fer.	1162,00	1133,00	1128,00	1145,00	1235,00
Houille par 1000 kil. de fer.	786,00	785,00	841,00	936,00	1500,00
Main-d'œuvre de puddlage par 1000 kil. de fer, en francs	7,50	8,00	8,50	11	18
Main-d'œuvre de cinglage, laminage, pesage, etc., par 1000 kil. de fer, en francs	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90

On voit que le puddlage des fontes fines grises pour fer

Digitized by Google

extra coûte à peu près le double comme combustible et plus du double comme main-d'œuvre que le puddlage des fontes blanches communes pour fers à rails.

Groupe de la Moselle. — Les usines qui représentaient avec le plus d'éclat à l'Exposition le groupe de la Moselle étaient les *forges de Saint-Paul*, à Ars-sur-Moselle, appartenant à MM. Dupont et Dreyfus.

Ainsi que nous l'avons dit dans notre première partie, les forges d'Ars-sur-Moselle travaillent uniquement les fontes au coke d'Ars produites par le minerai d'Ars; c'est par exception qu'elles emploient quelquefois des fontes au bois, et pour des fers recommandés.

En 1857, elles offraient le spectacle, qui n'est pas rare encore maintenant pour ces sortes d'établissements, d'un mélange plus ou moins confus de fours à puddler et à réchauffer, placés sous la même halle. On peut dire qu'en général, dans ces réunions, le puddlage est sacrifié; ainsi que nous l'écrivait naguère M. Remaury, directeur des forges d'Ars, comme l'industriel voit surtout le produit final, le fer qui sort des cylindres pour aller au magasin, c'est le fer marchand qui a toutes les faveurs, tous les honneurs. Le fer brut semble un accessoire, ce qu'on appelle *un intermédiaire*, *un sous-produit*. Mais ce sous-produit négligé sait faire payer le dédain qu'on lui témoigne, en lui retirant les égards qui lui sont dus. Aussi quand on a un nombre de fours à puddler suffisants, une usine spéciale et indépendante est indispensable. L'usine du Creusot a adopté cette règle et, avant elle, M. Remaury l'avait appliquée dans la construction de l'usine Saint-Paul.

L'usine de puddlage a été projetée pour quarante-huit fours à puddler (il n'y en avait que trente-deux en marche en 1867); elle est formée de deux bâtiments identiques contenant chacun vingt-quatre fours en trois groupes de huit. Chaque groupe remplit une des trois branches d'une croix dont la branche antérieure, plus large, est destinée aux machines motrices et aux trains de laminoirs. Cette disposition peut être considérée comme un modèle de halle de puddlage.

Digitized by Google

Chaque groupe de huit fours est desservi par un marteau pilon très-lourd; en quelques coups de marteau, la loupe est cinglée et bien épurée.

Les fours chauffent deux à deux une même chaudière, et deux chaudières correspondent à une même cheminée. On a obtenu des tirages remarquables avec des cheminées dont la hauteur n'est pas très-grande, et les fours sont entretenus à la plus haute température possible. Ils sont tous munis de registres placés à l'extrémité de la chaudière pour assurer la facilité de leur jeu.

Les chaudières sont presque toutes horizontales; on a mis seulement quatre chaudières verticales dans le voisinage des estacades à houille pour gagner de la place et faire des essais comparatifs. Les trois pilons sont placés le plus près possible des trains, et cependant ils ne sont pas loin des fours.

Les fours à puddler sont à sole réchauffeuse pour la fonte, à courant d'air sous la sole et le petit autel, et à courant d'eau sous le grand autel. Ils traitent des fontes soigneusement classées, et pour certaines sortes il n'est pas rare qu'ils fassent dix charges par tournée de douze heures. On ajoute pendant l'opération un fondant spécial qui a pour but de donner une scorie très-liquide et très-fusible; la fusibilité est déjà entretenue par le tirage actif. On tend en général à produire du fer bien épuré et par suite plus ou moins nerveux.

Les forges d'Ars comprennent dans leur halle de réchauffage quinze fours à réchauffer et huit trains de laminoirs, savoir : deux trains universels pour larges fers plats, deux trains gros mills pour gros fers spéciaux, deux moyens mills pour fers marchands et spéciaux, deux petits mills pour petits fers. (Il n'y a pas de train de tôlerie.) Cet outillage correspond à une production annuelle de 30 000 tonnes de fers marchands et spéciaux, ces derniers formant les trois cinquièmes du tonnage total.

MM. Karcher et Westermann ont aussi à Ars des forges qui fabriquent des fers marchands.

Digitized by Google

Les usines les plus considérables du groupe sont celles de *MM. de Wendel et Cᵉ*, qui comprennent, en dehors des hauts fourneaux dont nous avons déjà parlé, sept forges, savoir :

La *platinerie d'Hayange*, avec 20 puddlings simples, 3 doubles, 10 feux d'affinerie, 4 marteaux pilons, 3 trains de puddlage et 2 trains divers;

La *fonderie d'Hayange*, avec 17 fours à réchauffer et 6 trains de laminoirs divers;

Suzange, avec 7 fours et 3 trains;

Moyeuvre, avec 33 puddlings, 6 pilons et 3 trains de puddlage, sans compter 1 tréfilerie et 1 pointerie;

Jamailles, avec 22 fours à souder et 10 trains de laminoirs divers;

Moulinneuf, avec 5 fours et 2 trains à tôles;

Enfin *Styring-Wendel*, avec 45 puddlings, 8 marteaux pilons et 3 trains de puddlage, plus 20 fours à réchauffer et 4 trains pour rails et corroyés.

Le nombre total des fours à puddler de MM. de Wendel et Cᵉ s'élevait en 1867, comme on voit, à 101, dont 16 doubles, ces derniers étant munis des appareils de puddlage mécanique de M. Lemut dont nous parlerons plus loin.

A *Styring-Wendel*, usine qui a la spécialité des rails, on ne fabrique que du fer brut pour rails, à grain ou à nerf. Pour le fer à nerf, on emploie de la fonte qui a subi une sorte de mazéage décrit dans la première partie, et on pousse le puddlage jusqu'au bout. Pour le fer à grain, on prend de la fonte grise et on ne pousse pas l'affinage à fond; le fer obtenu contient encore un peu de phosphore qui conserve le grain, même en l'absence d'une carburation plus avancée. On travaille sans sole et sur la plaque de fonte pour le fer à grain et sur sole en riblons pour le fer à nerf. Les fours sont à courants d'eau sous les cordons. On procède par charges de 240 kilogrammes ordinairement.

A *Moyeuvre* et à *Hayange*, on fabrique des fers de qualité meilleure, à grain ou à nerf, en travaillant des fontes très-grises que l'on charge froides sur sole en ferrailles. On obtient ainsi des fers à fin grain ou à nerf très-long et très-

Digitized by Google

blanc. Ainsi que nous l'avons vu ailleurs, la production d'un four est réduite de moitié et la consommation de combustible est doublée. Les fers bruts sont soumis, chez MM. de Wendel, à un classement soigné.

On a essayé, il y a quelques années, dans les usines de MM. de Wendel, un perfectionnement intéressant qui consistait à effectuer la fusion de la fonte dans des cubilots et à faire arriver le métal liquide sur la sole du four à puddler. On obtenait par ce procédé un fer brut excellent et la durée d'une charge ne dépassait pas quarante minutes. Mais des inconvénients pratiques ont forcé de renoncer à ce procédé. La fonte liquide corrodait très-vite les parois du four; si la coulée du cubilot était retardée par suite d'un mauvais bouchage, le four attendait en brûlant inutilement du combustible; on avait un déchet considérable en vieilles poches et en fonds de poche, etc.

Les établissements de Wendel n'avaient pas exposé ; nous en avons déjà exprimé le regret dans notre première partie; nous ne pouvions cependant nous dispenser de leur donner ici la place qui leur appartient.

Les *forges de Gorcy*, à MM. Labbé et Ce, exposaient aussi des fers fabriqués avec les fontes du canton de Longwy (Moselle).

Dans la Moselle, on consommerait par tonne de fer brut, d'après un maître de forges de ce pays, 1 150 kilogrammes environ de fonte, 1 060 de houille et 50 de riblons; la main-d'œuvre spéciale, comprenant puddlage, cinglage et laminage, coûterait 10 fr. 25.

Pour nous, voici comment nous établirions le prix de revient de 1 000 kilogrammes de fer brut ordinaire pour rails, pour une forge située à portée du bassin de Sarrebrück, par exemple :

1150 kil. de fonte, à 56 francs	64 fr. 40
850 kil. de houille à 12 francs.	10 20
Main-d'œuvre de puddlage, cinglage, laminage, etc.	9 00
Entretien, réparations, surveillance. . .	8 00
Total. . . .	91 fr. 60

Digitized by Google

GROUPES DE COMTÉ ET DES ALPES. — L'usine à la houille la plus considérable du groupe est celle des *forges de Fraisans*, sur le Doubs, qui appartenait en 1867 à MM. Menans et Ce, gérants de la *Société des fonderies et forges de Franche-Comté*, transformée aujourd'hui en société anonyme.

L'*usine de Fraisans* possède trente-huit fours à puddler, dont trente-quatre sont toujours en roulement, munis chacun d'une chaudière horizontale à un seul bouilleur. Les charges sont de 225 kilogrammes de fonte ; le déchet ordinaire pour fers communs varie de 10 à 13 pour 100. On fabrique soit des fers ordinaires, en faisant neuf ou dix charges en douze heures ; soit des fers à grain ordinaires, avec des fontes blanches de bonne qualité et en faisant huit charges ; soit des fers à fin grain, avec des fontes truitées, en faisant six charges, et avec addition des scories riches des feux comtois. Les fours sont desservis par trois marteaux pilons et deux squeezers (mais ces derniers ne servent qu'en cas d'accident aux pilons), puis par deux trains de puddlage composés de trois cages chacun.

L'atelier de puddlage occupe une des extrémités de la longue halle des forges construite par feu l'ingénieur Boudsot et remarquable par l'élégance de sa toiture. La forge de Fraisans produit 24 000 tonnes de fer à la houille par an, et occupe environ douze cents ouvriers.

On trouve encore en Franche-Comté deux fours à puddler à *Audincourt ;* mais ils ne travaillent pas d'une manière continue.

Les *forges de Mouterhausen et Reichshoffen*, importants établissements appartenant à MM. de Dietrich et Ce, de Niederbronn (Bas-Rhin), fabriquent des fers fins et des aciers pour essieux et bandages, par le puddlage de fontes au bois et au coke.

Dans l'Isère, on fabrique des fers et aciers puddlés aux *forges d'Allevard*, chez MM. Charrière et Ce, et aux *forges de Bonpertuis*, chez M. Gourju.

A Allevard se trouvent deux fours à puddler, l'un à la houille, et l'autre au bois. (Nous décrirons ce dernier ulté-

Digitized by Google

rieurement.) On y traite, soit des fontes du pays, soit des fontes provenant des minerais méditerranéens, pour obtenir des fers fins et des aciers.

A Bonpertuis, on a quatre fours à puddler qui traitent également des fontes du pays (Brignoud) et des fontes de la Loire et du Midi.

Groupe de Champagne. — La Champagne, autrefois l'un des centres principaux de la production du fer en France, est bien déchue maintenant de son ancienne importance. Son principal exposant était la *Société des forges d'Abainville et dépendances* (Meuse), qui possède onze fours à puddler à Abainville, où elle traite des fontes fabriquées sur place, ainsi que dans son fourneau d'Héming, ou bien des fontes achetées. Elle fabrique uniquement des fers marchands et a entre autres la spécialité des fers ronds laminés martelés pour les transmissions de mouvement.

MM. Colas frères possèdent dans la *forge de Rachecourt* (Haute-Marne) quatorze fours à puddler et ils y traitent les fontes de leurs hauts fourneaux de Rachecourt, de Beaupré, de Chevillon. La production normale annuelle de leur usine est de 7 000 tonnes de fers marchands (moyens, petits, machine et feuillard). Leur combustible vient de Belgique.

Les *forges du Manois*, à MM. de Beurges, possèdent quatre fours à puddler et avaient exposé des fers puddlés bruts à fin grain et à nerf.

Les *forges d'Eurville* (Haute-Marne), à MM. Bonnor, Jamin, Bailly et Ce, fabriquent annuellement 10 000 tonnes de fer environ et avaient exposé leurs produits en fers marchands et machine.

Celles de *Doulaincourt* (Haute-Marne), à M. Bonnamy, exposaient de beaux fers bruts à nerf, entre autres un barreau rond rompu dans un essai. Ses dimensions étaient de 50 millimètres de diamètre aux extrémités, 45 sur le corps et 35 à la section de rupture. Sa longueur primitive de 1^m^,47 s'était allongée de 228 millimètres (soit 15 et demi pour 100) sous la charge de rupture, qui était de 62 000 kilogrammes (soit environ 34 kilogrammes par millimètre carré de la section pri-

Digitized by Google

mitive et 62 kilogrammes par millimètre carré de la section de rupture).

Les *forges du Clos-Mortier*, à Saint-Dizier, sont au nombre des plus importantes du groupe ; elles comptent neuf fours à puddler doubles, munis des appareils de puddlage mécanique inventés par M. Lemut, l'un des gérants de l'usine, et fabriquent annuellement 10 000 à 11 000 tonnes de fer. Nous donnerons plus loin la description et les résultats des fours du Clos-Mortier. La même société, MM. Simon, Crozet, Lemut et Cᵉ, possède deux autres usines également voisines de Saint-Dizier, savoir : le Nouveau-Clos-Mortier et la forge Neuve.

Auprès de Saint-Dizier se trouvent encore la *forge Sainte-Marie* (MM. Bonnor, Malgras et Cᵉ), avec six fours à puddler, et la *forge Anglaise* (MM. Guyard, Geny et Cᵉ), avec dix fours à puddler. Aucune des usines de Saint-Dizier n'avait exposé.

Deux usines moins importantes, celle de *Donjeux* et celle de *Froncles*, représentaient encore la Haute-Marne à l'Exposition.

L'arrondissement de Vassy comptait en 1866 cinquante-neuf fours à puddler et vingt et un fours à réchauffer, ayant produit 54 000 tonnes de fer environ.

Le département des Ardennes était représenté par plusieurs usines.

Les *forges de Flize* (E. Muaux et Cᵉ) exposaient une belle série de leurs fers puddlés, fabriqués avec leurs fontes au coke de Moulaine et leurs fontes au bois de Boutancourt. Les *forges de Bazeilles* (Boutmy père, fils et Cᵉ), à Messempré-Carignan, fabriquent surtout des tôles puddlées, avec les fontes des fourneaux de Margut et de Chauvency. Celles de *Saint-Charles et de la Cachette*, près Charleville (M. Petit-Drumaux), exposaient des pièces de forge.

On consomme dans la Haute-Marne environ 1100 à 1150 kilogrammes de fonte et 800 à 1 000 kilogrammes de houille par 1 000 kilogrammes de fer brut. La houille venant de Prusse et de Belgique coûte environ 20 francs la tonne rendue dans les usines.

Digitized by Google

Pendant la durée même de l'Exposition, l'industrie métallurgique du groupe de Champagne se trouvait dans un état de crise violente qui s'est manifesté par la chute de plusieurs forges importantes. Les cours des fers avaient baissé ; les affaires s'étaient ralenties ; les marchandises restaient en magasin, fait d'autant plus fâcheux que presque toutes les usines s'étaient outillées pour augmenter leur production et diminuer ainsi leurs frais généraux. Les maîtres de forges réclamaient, pour leur venir en aide, la continuation du canal de la Haute-Marne le plus avant possible dans le département ; la prompte réalisation du chemin de fer de Vassy à Saint-Dizier et de Neufchâteau à Pagny ; la diminution des tarifs de chemins de fer pour le transport des charbons ou tout au moins l'égalité de ces tarifs et de ceux relatifs à l'exportation des minerais de la Haute-Marne ; une plus active surveillance sur le trafic des acquits-à-caution, et enfin au moins le maintien des droits actuels pesant à l'entrée des fontes et des fers étrangers.

Groupe du Nord. — Le groupe du Nord comprend plusieurs usines très-importantes qui étaient représentées à l'Exposition de 1867.

Les *forges de Denain et d'Anzin* exposaient des fers bruts de diverses qualités, fabriqués avec les cinq espèces de fontes que produisent leurs hauts fourneaux, savoir :

L'ébauché pour rails, à grain, fabriqué avec la fonte n° 1 ; le corroyé qui en provient est aussi à grain ;

L'ébauché pour poutrelles, nerveux, provenant du puddlage d'un mélange de fontes n°s 1 et 2 ; le corroyé est aussi nerveux ;

L'ébauché pour fer marchand n° 1, métis, à grain et à nerf, ainsi que son corroyé provenant de fonte n° 2 pure ;

L'ébauché pour fer marchand n° 2, plus nerveux, fabriqué avec un mélange d'un tiers de fonte n° 3 et deux tiers de fonte n° 2 ;

L'ébauché pour tôles puddlées ou tôles à chaudières, provenant pour moitié de fonte n° 2 et pour l'autre moitié de fonte n° 3 ;

Digitized by Google

L'ébauché pour fer marchand n° 3 et pour tôles qualité fer fort, nerveux, fait avec la fonte n° 4 ; son corroyé présente un très-beau nerf;

Enfin l'ébauché pour fer marchand, qualité n° 4, et pour tôles qualité tôle au bois, très-nerveux, fait avec la fonte n° 5.

Des travaux d'emboutissage effectués sur des tôles fer fort (casque, forme à sucre, base de cheminée), sur des tôles mixtes et sur des tôles chaudières (fonds de chaudières et cuissards) montraient leur bonne qualité.

La forge d'Anzin possède 38 fours à puddler, 3 pilons de cinglage, 2 trains de puddlage (dont 1 à 3 cylindres, qui a desservi jusqu'à 34 fours), 24 fours à réchauffer, 22 machines à vapeur (ensemble de 950 chevaux), sans compter 6 pilons et 58 chaudières (avec une surface de chauffe de 1 100 mètres carrés) chauffées par les flammes de 58 fours à puddler et à réchauffer.

La forge de Denain n'est pas tout à fait aussi considérable.

La *forge du Nord à Maubeuge* fabrique annuellement 25 000 tonnes environ de fers, tôles et rails, avec une force motrice de 700 chevaux environ. Elle compte 32 fours à puddler qui fabriquent des fers tendres, métis, forts et extra-forts : les premiers, à grain, servent pour les champignons des rails ; les seconds, pour les poutrelles, et les troisièmes, nerveux, pour les patins de rails. Le cinglage est effectué par 2 marteaux pilons ; il y a une presse de rechange. L'étirage des barres puddlées se fait dans 2 trains, l'un de 45 et l'autre de 50 chevaux, conduits directement sans transmission, par des machines horizontales à haute pression sans détente ni condensation, faisant 60 à 70 tours par minute. Il y a en outre 13 fours à réchauffer et à recuire, 1 pilon soudeur et 4 trains marchands conduits aussi par des machines à action directe.

La *forge de la Providence à Hautmont* fabrique surtout des fers spéciaux, des tôles et des roues laminées. Son atelier de puddlage contient 30 fours, munis de chaudières verticales à circulations de flamme intérieures, 1 marteau frontal pour le cinglage et 2 trains ébaucheurs.

Digitized by Google

Les *forges de Soygland et de Pas-Bayard* possèdent 4 fours à puddler, chauffés par le système Siemens.

Les *forges de Montataire*, situées près de Creil, dépendent aussi du groupe du Nord; elles possèdent 32 fours à puddler, 5 pilons et 2 trains de puddlage, sans parler des fours à réchauffer et des trains marchands et de tôleries. Elles consomment des fontes d'Outreau et des ferrailles, du charbon de bois du Luxembourg et des houilles de Lens et de Frameries. Elles emploient plus de deux mille ouvriers, et fabriquent surtout des tôles.

Dans une des forges de ce groupe, on fait en douze heures, au puddlage, neuf charges de 220 kilogrammes de fonte (quelquefois sept à huit seulement). On obtient par charge 175 à 190 kilogrammes de fer en quatre ou cinq boules qu'on cingle au pilon. Le déchet est de 10 à 13 pour 100 et la consommation de houille de 830 kilogrammes par 1000 kilogrammes de fer puddlé en barres. La main-d'œuvre de puddlage par tonne de fer varie depuis 7 jusqu'à 10 francs, suivant la qualité.

Groupe du Centre. — La *Société des forges de Châtillon et Commentry* fabrique des fers bruts à la houille dans les forges de Saint-Jacques de Montluçon (environ vingt-cinq puddlings), dans celles de Commentry, dans celles d'Ancy-le-Franc (Yonne) et dans celles de Sainte-Colombe (Côte-d'Or). Sa production annuelle en fers de toutes natures s'élève à 70 000 tonnes environ. Elle emploie à leur fabrication les fontes les plus diverses, aussi présentent-ils plusieurs variétés de qualité; mais les spécimens exposés ne comprenaient point de fers bruts, et, s'ils donnaient une idée exacte des genres de produits de la société, ils apprenaient peu de chose au visiteur qui s'intéressait à la fabrication plutôt qu'aux applications du fer.

MM. Boigues, Rambourg et C°, qui possèdent les importantes *forges de Fourchambault*, ne donnaient pas non plus beaucoup de renseignements sur leur fabrication. Leur usine contient 38 fours à puddler, 3 marteaux pilons, 2 trains de puddlage, 9 cisailles, 18 fours à réchauffer et 5 trains mar-

Digitized by Google

chands. Elle peut fabriquer annuellement 20 à 25 000 tonnes de fers marchands et rails.

Dans la Côte-d'Or, MM. Cailletet et Cᵉ possèdent à *Châtillon-sur-Seine* une petite forge qui exposait des fers fins, et des aciers naturels obtenus par le puddlage au gaz de bois.

Les *forges de Gueugnon*, à MM. Campionnet et Cᵉ, dans le département de Saône-et-Loire, fabriquent à la houille des tôles et des fils de fer.

Voici un spécimen de prix de revient de puddlage dans une forge du Centre, noté il y a quelques années :

Fonte et fin métal par 1 000 kil. de fer brut. .	1 167 kil.
Houille	8hect,56

Main-d'œuvre.

Puddleurs, aides et tocqueurs. . . .	6fr.00
Presseurs et décrasseurs	0 60
Lamineurs et dégrossisseurs	0 70
Ragaucheurs.	0 35
Avioteurs	0 23
Peseurs de fer.	0 25
Redresseurs.	0 22
Peseurs et rouleurs de fonte	0 31
Rouleurs de houille . . :	0 37
Machinistes et alimentateurs	0 25
Manœuvres et suppléants.	0 11
Primes, chauffage, etc.	0 80
Contre-maîtres	0 38
Total de la main-d'œuvre. .	10fr.57

Dans le département de l'Allier, les houilles coûtent sur le carreau des mines de Commentry, Bezenet, etc., 55 à 65 centimes l'hectolitre, et 3 fr. 50 à 6 fr. 50 les 1 000 kilogrammes pour les menus, suivant leur qualité.

Groupes du Nord-Ouest et du Sud-Ouest. — La sidérurgie n'est point prospère dans le Nord-Ouest de la France; aucune forge de cette région n'avait exposé. Dans le département des Côtes-du-Nord se trouvent les *forges du Vaux-Blanc*, dans la forêt de Loudéac, qui sont l'établissement

Digitized by Google

métallurgique le plus important de Bretagne, appartenant à M. Carré-Kérisouët. On y traite dans 4 fours à puddler des fontes produites sur place avec les minerais du pays (environs de Redon), mélangés de minerai de Bilbao ; il y a 2 fours à réchauffer et 3 trains de laminoirs. Les *forges de la Basse-Indre*, près Nantes, traitent surtout des vieilles fontes et fabriquent des essieux.

Dans le Périgord, on a fait quelques essais de fabrication du fer à la houille ; mais ils n'ont pas obtenu de succès commercial, et n'ont pas été continués.

La grande *usine d'Aubin*, dans le bassin houiller de l'Aveyron, appartenant à la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, est la plus importante du groupe du Sud-Ouest. Elle possède 25 à 30 fours à puddler en marche, 4 pilons de cinglage et 2 trains ébaucheurs, 8 fours à réchauffer à chauffe soufflée de grandes dimensions et des laminoirs à rails. Elle traite les fontes de ses hauts fourneaux et s'occupe spécialement de la fabrication des rails pour la Compagnie d'Orléans.

Les *forges de Decazeville*, aussi dans l'Aveyron, étaient éteintes en 1867, et n'avaient pas exposé. Elles ont repris depuis une partie de leur ancienne activité entre les mains d'une société nouvelle et sous la direction de M. Deseilligny, ancien directeur des usines du Creusot.

Dans le département de l'Ariége se trouve, près de Pamiers, la *forge de Sainte-Marie*, qui puddle à la houille les fontes des hauts fourneaux de Tarascon, fabriquées au coke avec les minerais de Rancié, et les fontes mixtes des hauts fourneaux de Pamiers. Elle possède huit fours à puddler, dont quatre pour fer, et fabrique annuellement environ 3 500 tonnes de fer, sans compter 1 500 tonnes d'acier puddlé. Grâce à la pureté des matières premières, les fers de Pamiers et de Tarascon présentent une qualité supérieure. Les houilles consommées dans la forge de Sainte-Marie viennent du bassin houiller de l'Aveyron, et coûtent 27 francs la tonne. La main-d'œuvre de puddlage y coûte, d'après M. Mussy, 22 francs la tonne, prix fort élevé en comparaison de ce qu'il est ordinairement.

Digitized by Google

Conclusion.—Pour terminer ce que nous avons à dire de la fabrication des fers puddlés en France, nous ajouterons que, d'après la statistique officielle, notre pays comptait en 1864 1 022 fours à puddler, 962 fours à réchauffer, 339 marteaux pilons, 32 presses et 543 trains de laminoirs.

DEUXIÈME SECTION

Fabrication des fers puddlés en Angleterre.

Préliminaires. — Le puddlage a fait des progrès énormes depuis l'invention de Cort jusqu'à nos jours, dans les usines de la Grande-Bretagne, ainsi que le montreront les chiffres ci-dessous :

Années.	Nombre de fours à puddler.	Nombre de machines de laminoirs.
1862.	4 832	647
1865.	6 407	730
1866.	6 239	826
1868.	5 903	831

En 1865, le nombre des fours à puddler était donc plus de six fois plus grand en Angleterre qu'en France.

Nous passerons rapidement en revue les principales usines à fer de la Grande-Bretagne, en les classant dans les groupes qui nous ont servi à étudier la fabrication de la fonte.

Groupe de l'Écosse. — L'Écosse, quoiqu'elle produise surtout des fontes de moulage, possède cependant quelques grandes usines à fer. Il en existe cinq dans les environs immédiats de Glascow, parmi lesquelles la plus importante est celle dite *forges de Glascow*, appartenant à une compagnie et possédant quarante-sept fours à puddler et six machines de laminoirs. On y a essayé le système de puddlage pneumatique inventé par M. Richardson.

La *forge de Govan*, également à Glascow, appartient à M. W. Dixon, possesseur de treize hauts fourneaux, parmi lesquels ceux de Calder. Elle est reliée par des chemins de fer à cette dernière usine, ainsi qu'aux houillères appartenant au même propriétaire. L'usine de Govan comprend

Digitized by Google

trois feux de finerie, trente fours à puddler et cinq séries de laminoirs, parmi lesquels un gros train de tôlerie. On y traite à la fois dans les fineries 1 200 kilogrammes de fonte grise, et on fait six à sept coulées par vingt-quatre heures. Les charges des fours à puddler sont formées d'un mélange de *fine metal* et de fonte grise en proportions variables ; elles pèsent 200 kilogrammes environ, et l'opération, abrégée par la présence du *fine metal*, ne dure qu'une heure un quart; on fait sept charges par douze heures; le déchet de puddlage n'y est que de 7 pour 100 environ. La houille employée est en morceaux; on vient de monter dans l'usine un four à puddler par le système Siemens.

Les forges écossaises passent au feu de finerie une bonne partie des fontes grises du pays qu'elles traitent ; ces fontes sont, comme nous l'avons dit précédemment, très-siliceuses et passablement phosphoreuses, et leur puddlage en crasses serait presque impossible, si on le pratiquait sur des fontes pures. On fine une certaine proportion de celles-ci en les transformant en *fine metal* lamelleux. On peut alors, en mélangeant un quart ou une moitié de *fine metal* avec la fonte grise, diminuer assez la proportion de silicium pour que le puddlage en crasses ne soit pas trop long. On améliore quelquefois la qualité des fers puddlés, en ajoutant aux charges des fours à puddler une certaine proportion de fontes d'hématite du pays des lacs. Toutefois la qualité des fers marchands d'Écosse est ordinaire et analogue à celle des fers du Staffordshire.

Groupe du Nord-Est. — Le bassin houiller de Newcastle et de Durham alimente un nombre considérable de forges, placées surtout dans le voisinage de Newcastle ou dans celui de Middlesbro. Les usines à fer pullulent sur les bords de la Tyne, de la Wear et de la Tees.

Sur la Tyne on trouve, entre autres :

L'*usine de Jarrow*, à la Compagnie Palmer, avec 90 fours à puddler ;

L'*usine de Gateshead*, à MM. Hanks, Crawshay et Cᵉ, avec 60 fours à puddler.

Digitized by Google

Sur la Wear, entre autres :

L'*usine de Monkwearmouth*, à MM. Tysack et C°, avec 24 fours à puddler.

Sur la Tees et ses affluents, entre autres :

Les *usines de Cleveland, Middlesbro* et *Witton Park*, à MM. Bolckow et Vaughan, avec 150 fours à puddler ;

La *forge de Teesside*, à MM. Hopkins, Gilkes et C°, avec 72 fours à puddler ;

La *forge de Stockton*, à la Compagnie de Stockton, qui contient 45 fours à puddler.

En outre, dans l'intérieur du pays :

La *forge d'Albert-Hill*, à la Compagnie de Darlington, qui renferme 90 puddlings ;

La *forge de Consett*, à la Compagnie des usines de Consett, contenant 151 fours à puddler et 11 machines de laminoirs ;

La *forge de Tudhoe*, à la Compagnie des forges de Weardale, avec 64 fours à puddler.

A Tudhoe, on fabrique avec des fontes provenant d'hématites brunes des fers marqués *Tudhoe*, ayant une résistance à la traction de 39^{k},3 par millimètre carré ; les fers marqués *Weardale* sont faits avec des fontes provenant de minerais spathiques purs et ont une résistance d'environ 44 kilogrammes par millimètre carré, d'après les documents exposés à Londres en 1862.

Cette énumération de quelques forges seulement donne une idée de la puissance productive du groupe, qui ne renferme pas moins de 31 usines, avec plus de 1 200 fours à puddler, c'est-à-dire autant que la France tout entière.

Pour donner une idée de l'installation d'une usine à fer modèle dans le Cleveland, nous décrirons la *forge de Skerne*, près Darlington, appartenant à MM. Pease (1), Hutchinson et Ledward, et fabriquant spécialement des grosses tôles.

---

(1) On sait que MM. Pease, les célèbres quakers du Cleveland, sont aussi copropriétaires des hauts fourneaux de la Tees, près Middlesbro, des mines de fer d'Upleatham et de nombreuses houillères (Adélaïde, Saint-Helens, Bowden-close, Deanery, Esh, Job's-hill, Roddy-Moor, Stanley, Waterhouses, Wodley).

Digitized by Google

Cette usine compte trente-six fours à puddler, disposés en deux rangées parallèles ; ils sont répartis par groupes de quatre fours, chaque groupe chauffant une chaudière verticale de 2m,75 de diamètre et de 6m,70 de hauteur. Les neuf chaudières sont chauffées par les flammes d'abord extérieurement, puis au moyen de circulations intérieures ; les carneaux aboutissent à une cheminée traînante souterraine commune, terminée par une cheminée verticale de 48 mètres de hauteur et de 2m,45 de diamètre au sommet. Les fours à puddler (comme ceux aussi à réchauffer) reçoivent leur approvisionnement de houille au moyen d'une voie ferrée aérienne, supportée sur des colonnettes ; les wagons du chemin de fer arrivent au droit de chaque four, et ils déversent par le fond leur contenu dans sa case à charbon ; le transport des houilles, y compris le déchargement, coûte 7 centimes par tonne. Les cendres et les escarbilles sont emportées loin du cendrier au moyen d'un chemin de fer souterrain. Les plaques d'armature des fours sont en tôle de 10 millimètres, roidies au moyen de contre-forts en rails Brunel qui sont traversés par les tirants. Chaque rangée de fours est sous une étroite travée de toiture, les chaudières et les chemins de fer sont en plein air.

Le cinglage se fait au moyen de deux marteaux pilons : un marteau Morrison à double effet de 2 500 kilogrammes, et un marteau à simple effet à pilon cylindrique, de Thwaites et Carbutt, pesant 3 tonnes. Les deux marteaux sont placés aux deux extrémités du train de puddlage.

Le train de puddlage comprend trois jeux de cylindres de 55 centimètres de diamètre, équilibrés et disposés pour fournir des fers bruts de 40, 35 et 30 centimètres de largeur, chaque barre provenant de la réunion de trois ou quatre loupes. Ce train est activé directement par une machine horizontale dont le piston vapeur a 70 centimètres de diamètre et 1m,80 de course ; le volant, de 6m,70 de diamètre, pèse 35 tonnes et fait 30 tours par minute.

On coupe les barres puddlées, quand elles sont refroidies, pour le paquetage, au moyen de deux cisailles à double le-

Digitized by Google

vier (une pour chaque train marchand), capables de couper des barres de 45 centimètres de largeur sur 75 millimètres d'épaisseur, mues chacune par une machine à vapeur spéciale.

Les fours à réchauffer, au nombre de huit ou dix, sont disposés d'une façon analogue aux fours à puddler, avec la différence que deux fours seulement chauffent chaque chaudière à vapeur, et que celles-ci ont 2m,45 de diamètre et 6m,70 de hauteur. Leur enveloppe est aussi en tôle. L'enfournement, comme le défournement des paquets, se fait mécaniquement : un arbre de transmission passe au-dessus du train marchand ; il porte un tambour à chaîne au droit de chaque four ; on économise ainsi de la main-d'œuvre, le chargement se fait rapidement et on peut amener sans retard de lourds paquets au train.

Le laminoir est composé de deux trains de 55 centimètres, chaque train comprenant une cage soudeuse, une cage dégrossisseuse et une cage finisseuse. Dans le train n° 1, les cylindres finisseurs ont 1m,65 de table, et dans le train n° 2, 1m,50. On n'emploie qu'occasionnellement les cylindres soudeurs. Les deux trains sont à mouvement alternatif. Ils sont commandés directement par une paire de machines horizontales, dont les pistons ont 85 centimètres de diamètre et 1m,50 de course, accouplées sur un arbre en fer forgé de 45 centimètres de diamètre qui porte trois engrenages en rapport avec le changement de marche, et un volant de 7m,50 pesant 60 tonnes; l'arbre, les engrenages et le volant pèsent en tout environ 100 tonnes. Les machines font de 28 à 30 tours par minute et sont munies d'un régulateur Porter. Elles peuvent activer les trains en plein travail, avec de la vapeur ayant une pression de 2 atmosphères et demie dans les chaudières. Le changement de marche se compose d'un manchon d'embrayage ordinaire glissant entre des roues dentées qui tournent folles en sens inverse sur l'arbre moteur.

Les cisailles à tôle, une pour chaque train, sont de la construction ordinaire, activées chacune par un moteur spécial, et peuvent couper d'un seul coup des tôles de 2m,40

Digitized by Google

de longueur et 37 millimètres d'épaisseur. Toute la vapeur employée dans l'usine est produite par les flammes perdues des fours à puddler et à réchauffer ; il n'existe qu'une chaudière chauffée par une grille qui fournit de la vapeur aux pompes d'alimentation. Le nombre total des machines à vapeur de l'usine, y compris les ventilateurs, est de dix-sept, formant une puissance totale de 400 chevaux environ. Les chaudières, timbrées à 3 atmosphères environ (40 livres anglaises par pouce carré), sont fabriquées chez M. Adamson ; les tubes sont soudés longitudinalement et assemblés par bout au moyen de joints à brides.

Les fontes employées dans l'usine de Skerne proviennent de divers hauts fourneaux du Cleveland ; on y mélange aussi un peu de fonte d'hématite.

Voici le roulement moyen du premier trimestre de 1867 :

Consommation par 1 000 kilogrammes de fer puddlé.

Fonte grise du Cleveland	919 kil.
— d'hématite.	153 —
— d'Ecosse et diverses . . .	17 —
En tout, fontes diverses. . .	1089 kil.
Houille.	1338 —

Consommation par 1 000 kilogrammes de fer corroyé.

Bouts de barres.	483 kil.
Rognures de tôles.	664 —
En tout. . . .	1147 kil.
Houille.	411 —

Les paquets sont chauffés sur soles en sable, et quand ils ne sont pas trop larges ou trop lourds, on les lamine en une seule chaude. Pendant le semestre, un cinquième seulement des paquets a subi une seconde chaude.

Consommation par 1 000 kilogrammes de tôles finies :

Fer puddlé et fer corroyé	1320 kil.
Houille	1018 —

Le roulage dans l'usine de Skerne est fait par des che-

Digitized by Google

vaux, et coûte environ 17 centimes par tonne de matières entrant dans l'usine ou en sortant. On ne trouve pas que la forge soit assez importante pour effectuer les transports intérieurs par locomotives.

L'usine de Skerne, établie en 1865, peut produire 350 tonnes de tôles par semaine. On voyait à l'Exposition quelques échantillons de ses tôles dites *spéciales* (*special plate*).

A *Newport*, M. Fox, Head et Cᵉ ont une usine comprenant trente-six fours à puddler, parmi lesquels plusieurs d'un système nouveau, dont nous parlerons ultérieurement. Dans les anciens fours, les résultats du puddlage sont les suivants :

Consommation moyenne de houille par semaine et par four	15 610 kil.
Consommation moyenne de fonte par semaine et par four	15 118 —
Production moyenne de barres puddlées par semaine et par four	13 765 —
Houille par tonne de barres puddlées	1 124 —
Fonte par tonne de barres puddlées	1 108 —

La fonte est grise et les charbons assez médiocres.

La *forge de Thornaby*, à Stockton, appartenant à MM. Th. Whitwell et Cᵉ, se livre à un tout autre genre de fabrication. Elle possède vingt fours à puddler disposés en deux rangées parallèles : un chemin de fer y amène les fontes et les houilles, et une voie souterraine emmène les cendres et les escarbilles. Deux de ces fours sont chauffés par le système Wilson, dont nous parlerons plus tard. Le train de puddlage est commandé directement par une machine horizontale à deux cylindres, système Woolf (les cylindres ont 50 et 65 centimètres de diamètre). Une pente graduelle ménagée depuis les fours à puddler jusqu'aux laminoirs marchands, facilite les transports intérieurs. Les fours à réchauffer ont des chaudières à leur suite. Il y a deux trains de laminoirs, savoir : un train marchand de 35 centimètres et un train à guides. Le premier est commandé par une machine horizontale de Woolf, à cylindres de 35 et 50 centimètres de diamètre. Le second est activé par des engrenages à friction qui

Digitized by Google

fonctionnent avec une tranquillité et une régularité remarquables. L'usine de Thornaby fabrique surtout des fers marchands *best-best*, qui se vendent en concurrence avec les fers du Staffordshire. On y lamine des fers d'angle, des fers à T et des fers ordinaires.

La plus grande usine du groupe est *Consett*, située à environ 8 lieues de Durham, sur le chemin de fer de Durham-Consett. Elle contient 160 fours à puddler environ et 3 trains de puddlage, 48 fours à réchauffer de toutes espèces. Ses ateliers de laminage possèdent 5 trains simples, avec cylindres de 60 centimètres de diamètre, et 2 trains doubles (c'est-à-dire capables de faire le double de travail et d'utiliser un nombre double de fours à réchauffer), avec cylindres de 65 centimètres de diamètre. Chacun de ces derniers peut fournir 450 tonnes de tôle par semaine. Il y a en outre un très-beau train à rails capable de fournir par semaine 800 à 1 000 tonnes de rails. La Compagnie de Consett possède 10 locomotives et occupe, tant à son usine qu'à ses houillères, environ 6 000 ouvriers.

Les forges du groupe de Cleveland et Durham fabriquent peu de fers marchands, mais surtout des rails et des grosses tôles pour ponts, construction de navires, chaudières, etc. L'*usine de Westbourne* (John Holdsworth et Ce), ainsi que celle de *Teesside* (Hopkins, Gilkes et Ce) exposaient de maigres spécimens de leurs importantes fabrications de fers marchands.

Les tôles étaient représentées par plusieurs maisons.

MM. Fox, Head et Ce, de la forge de Newport, exposaient des spécimens d'emboutissage et des essais de résistance, savoir :

Tôles fortes.

Résistance en travers du laminage . .	38^k,8	par mill. carré.
— dans le sens du laminage .	47 ,2	—

Tôles douces.

Résistance en travers du laminage . .	31^k,5	par mill. carré.
— dans le sens du laminage .	35 ,2	—

Digitized by Google

La *Compagnie du fer malléable de Stockton* exposait un fragment de blindage de faible épaisseur.

Un marchand de fer de Londres, M. John Dixon, exposait des tôles du Cleveland *best best* (BB), c'est-à-dire qualité extra, garanties pour un effort de traction de 35 kilogrammes par millimètre carré, et cotées à 250 francs au moins par 1000 kilogrammes. Ces tôles sont celles employées par la marine royale.

GROUPE DES LACS ET DU LANCASHIRE. — Le Cumberland et le North Lancashire fabriquent surtout, ainsi que nous l'avons dit dans notre première partie, des fontes à Bessemer ; aussi ce groupe possède-t-il peu de fours à puddler. On n'emploie ceux-ci que pour utiliser les fontes que l'on produit accidentellement et qui sont impropres au convertisseur Bessemer.

L'usine à fer la plus importante est la *forge de West Cumberland*, située à Workington, et qui compte trente-deux fours à puddler et trois séries de laminoirs. Elle avait exposé en 1867 des loupes puddlées, des scories de réchauffage et des tôles dites *tôles d'hématite*, avec un tableau d'essais donnant des résistances à la rupture par traction de 39^{k},00, 47^{k},2, 45^{k},3, 37^{k},7 et 38^{k},9 par millimètre carré.

Le Lancashire proprement dit possède quelques usines à fer importantes voisines des villes de Liverpool, Manchester, Bolton et Warrington.

Auprès de Liverpool se trouvent les *forges et aciéries de la Mersey*, dont le directeur est M. William Clay, bien connu des métallurgistes, et qui comprend vingt-sept fours à puddler. Elles ont la spécialité des grosses pièces de forge, et ne se livrent pas à la fabrication des fers laminés marchands. A Bolton, les *forges et aciéries de Bolton* ont quinze fours à puddler, mais ne fabriquent de fer que pour leur propre usage. Il en est de même de l'*usine d'Openshaw*, près Manchester, qui fabrique des fers pour les ateliers de wagons de la Compagnie Ashbury.

La *forge de Pendleton*, près Manchester, fabrique des fers spéciaux sur commandes, pour satisfaire aux besoins acci-

Digitized by Google

dentels du commerce de détail de fers. Elle compte seize puddlings placés par paires côte à côte, chaque paire chauffant une chaudière verticale Galloway. Celles-ci, chauffées d'abord par l'extérieur, ont $2^m,10$ de diamètre, et le tube central par où les flammes redescendent a 90 centimètres de diamètre. Les fontes qu'on puddle viennent du Yorkshire, du Staffordshire et du Cleveland : on fait six charges par douze heures. On cingle avec des marteaux-pilons Nasmyth à simple effet. Les trains de laminoirs, au nombre de trois, sont commandés directement par des machines à haute pression. Le train à rails, dont les cylindres ont 40 centimètres de diamètre, fait 100 tours par minute ; il est commandé par une machine ayant un piston de 65 centimètres de diamètre et $1^m,35$ de course ; la vapeur a dans la chaudière une pression de 3 atmosphères et demie environ ; le volant, qui a 6 mètres de diamètre, pèse 20 tonnes ; ce train fonctionne depuis quinze ans sans autres réparations à la machine que le changement du tiroir.

On voit qu'aucune des forges du Lancashire n'est à proprement parler une forge marchande, puisqu'elles ne travaillent que pour des buts spéciaux ou sur commandes. Cette position particulière s'explique par l'absence de la matière première, le minerai, puisque la fonte doit arriver du dehors dans ces usines.

Groupe du centre. — Dans ce groupe, que nous avons formé avec les usines du Yorkshire (West Riding), du Derbyshire, du North Staffordshire, il existe plus de mille fours à puddler, qui traitent des fontes produites sur place.

Aux environs de Leeds, on trouve plusieurs forges importantes qui étaient représentées à l'Exposition de 1867.

L'*usine de Clarence*, à MM. Taylor frères et Ce, exposait du *fine metal* et des fers à fin grain du Yorkshire. On y fabrique surtout des essieux et des bandages.

Les *usines de Monkbridge et de Thornhill* font également des essieux, des bandages et des tôles, avec les fers fins du Yorkshire ; elles comptent ensemble 36 fours à puddler et 9 trains de laminoirs.

Digitized by Google

La grande *usine de Bowling*, près Bradford, comprenait, en 1862, 4 feux de finerie, 26 fours à puddler, 19 marteaux (dont 2 pilons de 7 tonnes), 6 fours à souder avec leurs grues, 5 trains de laminoirs, et fabriquait des fers supérieurs et des pièces forgées pour les ateliers de construction, la marine et les chemins de fer. Nous avons dit précédemment comment on y fabrique la fonte.

Cette fonte est d'abord finée dans des feux ayant un nombre de tuyères variant de trois à huit; on coule le *fine metal* dans une lingotière divisée en trois compartiments étagés, de façon à en faire des plaques de 7 centimètres environ d'épaisseur. Le *fine metal* est ensuite puddlé chaud pour fer à fin grain dans des fours à puddler à cassin. On cingle les boules au marteau frontal de 8 à 10 tonnes, et on forme une plaque martelée carrée (*stamping*) de 30 centimètres de côté et 6 centimètres d'épaisseur environ. Les plaques sont ensuite reprises et cassées en quatre morceaux sous un mouton à tiraudes pesant 50 kilogrammes et tombant de 3 mètres de hauteur. On classe les morceaux en deux choix, dont le premier seul sert pour les essieux et les bandages. Avec ces morceaux on forme des paquets cubiques de 30 centimètres de côté, en y ajoutant des bouts de bandage sciés qu'on place au centre. On les réchauffe au rouge blanc, et on les porte sous un frontal de 8 à 10 tonnes; on y superpose autant de paquets qu'il en faut pour obtenir un lopin définitif de la grosseur nécessaire, si c'est une pièce de forge qu'on veut fabriquer. Quand on veut étirer simplement en barres, on réchauffe et on martèle deux ou trois fois avant de faire passer au laminoir.

On obtient par ce procédé de fabrication des fers d'une qualité comparable à celle des fers affinés au charbon de bois, supportant le forgeage et l'emboutissage. L'usine de Bowling avait exposé en 1867 divers spécimens, entre autres un guéridon en tôle emboutie supporté sur un pied en fer noué à froid.

Mais l'acier Bessemer doux fait une concurrence sérieuse aux fers fins du Yorkshire; aussi les trois usines dont nous

Digitized by Google

venons de parler, qui, en 1862, ne fabriquaient que du fer, se sont-elles mises à fabriquer au creuset des aciers de fusion qu'elles exposaient aussi en 1867.

Les célèbres *forges de Lowmoor* (4 fineries, 40 puddlings, 16 marteaux, 6 trains de laminoirs), également près de Bradford, dont la marque est la plus estimée du Yorkshire, ont conservé leur spécialité de fers extra-forts. En 1867, elles exposaient : du *fine metal* avec sa scorie, des fers puddlés de deux espèces (l'une pour tôles de chaudière, l'autre pour bandages), des fers à câble pliés à froid de diverses façons pour montrer leur ductilité et leur force, des tôles de chaudière doublées à chaud, d'autres poinçonnées près du bord, des fers plats poinçonnés sur plat et sur champ, des barres rondes nouées à froid, une barre octogone poinçonnée sur quatre faces, un fer de bandage avec son rebord replié en dedans et en dehors à froid, des tôles de chaudières embouties et forgées sans soudure de diverses façons, un essieu de voiture dont le milieu avait été replié en cercle de 10 centimètres de diamètre, un fer martelé étiré sous le pilon depuis 15 centimètres de diamètre jusqu'à 4 millimètres et demi, des fers ronds de 63 millimètres formant un double nœud fait à froid, un dessus de table formé d'une tôle de chaudière emboutie à froid sur les bords, en créneaux alternatifs en dessus et en dessous, à angle droit avec la plaque, un tableau en tôle emboutie au dedans et au dehors, etc. Tous ces spécimens étaient autant de tours de force de forgeage exigeant une qualité de fer très-douce et très-nerveuse; cette qualité est due plutôt au soin qui préside à chaque détail de la fabrication qu'à la nature particulière des matières premières, minerais ou combustibles. Lorsque les fers ordinaires du Staffordshire valent 210 francs les 1 000 kilogrammes rendus à Liverpool, ceux de Lowmoor se cotent 445 francs la tonne aussi à Liverpool.

Les fers de Bowling se vendent à peu près aux mêmes prix que ceux de Lowmoor.

L'*usine de Farnley*, près Leeds, n'avait pas exposé en 1867; mais elle avait de magnifiques spécimens à l'Exposition de

Digitized by Google

Londres en 1862. M. Percy décrit son mode de fabrication dans son *Traité de métallurgie*. Les fers de Clarence, Monkbridge, Farnley se vendent un peu moins cher que ceux des usines plus anciennes de Lowmoor et Bowling ; toutefois ils étaient cotés à Londres en 1862, pour les dimensions ordinaires, 17 livres la tonne, soit 420 francs les 1000 kilogrammes environ.

Les environs de Sheffield, encore dans le South Yorkshire, renferment aussi plusieurs usines à fer importantes. Sans parler des forges et aciéries des faubourgs de Sheffield, qui nous occuperont plus tard, nous pouvons citer les *usines de Milton et Elsecar*, qui comprennent à elles deux 62 puddlings et 7 trains de laminoirs ; c'est dans ces usines qu'on a d'abord essayé le système Wilson pour le chauffage des puddlings, mais on y a rencontré de grandes difficultés de la part des ouvriers, qui s'y sont mis en grève. On y fabrique surtout des tôles et des rails.

Dans le Derbyshire, la forge la plus importante est celle de *Butterley*, près Alfreton (42 fours à puddler et 11 trains de laminoirs), qui avait exposé en 1862 à Londres des longerons, des tôles et des poutres laminées très-remarquables.

Le North Staffordshire comprend plusieurs usines considérables, entre autres la forge à fers marchands de *Shelton*, près Stoke (90 fours à puddler et 6 trains), les *forges de Biddulph, Norton et Ravensdale* (130 fours à puddler et 13 laminoirs), celle de *Silverdale*, près Stoke (58 puddlings et 5 trains). Elles travaillent les fontes du pays, dont nous avons parlé dans notre première partie.

Groupe du Staffordshire. — Le South Staffordshire, à lui seul, comprend près de 1700 fours à puddler et 280 trains de laminoirs.

Son industrie métallurgique était magnifiquement représentée à l'Exposition par la *forge de Round Oak*, appartenant à M. le comte de Dudley. Cet usine, située près de Brierley Hill, et dirigée, ainsi que les autres usines du comte de Dudley, par M. R. Smith, possède 52 fours à puddler et 5 trains de laminoirs ; elle traite les fontes des hauts

Digitized by Google

fourneaux de Level et Coneygre et fabrique des fers marchands et des tôles. Son exposition illustrait assez bien le mode de fabrication usité dans le Yorkshire.

On y voyait d'abord des fers puddlés (de 80 à 300 millimètres de largeur), dont la cassure était métis de grain et de nerf, destinés aux fers marchands ordinaires ; puis des fers corroyés ou ballés (*ball furnace bars*) larges de 125 à 250 millimètres pour fers *best*, des fers deux fois corroyés pour *best best* et *best best best*, des billettes à grain (de 30 à 60 millimètres de côté) pour fil de fer, des blooms à grain pour fers *best best best*, des aciers puddlés avec d'assez beaux arrachements.

Après ces matières premières se trouvaient les fers marchands ronds fibreux (*best*, *best best* et *best best best*) et ronds à fin grain, carrés fibreux (*best*, *best best* et *best best best*) et carrés à fin grain, des fers à T à grain, des tôles de chaudière, des rivets, des barres de fer à fin grain polies, des plates de charrues polies, des canons de fusil et des baïonnettes en fer homogène, des rails à T pour l'Australie (pesant environ 20 kilogrammes le mètre), des rails à double champignon ordinaires pliés à froid, des feuillards, des cornières, le tout accompagné de spécimens d'emboutissage, de torsion, de pliages à froid et à chaud, montrant une ténacité et une douceur remarquables.

En 1862, M. R. Smith, directeur général du domaine minéralurgique du comte de Dudley, avait déjà exposé des spécimens analogues.

Il avait eu aussi en 1867 l'heureuse idée d'exposer un tableau des expériences faites par MM. Cochrane, Grove et Cᵉ sur la résistance des fers de Round Oak. Les barres essayées étaient rondes, avec un diamètre de 20 millimètres environ :

	Charge de rupture par millimètre carré.
Barres ordinaires	37ᵏ,3
— best	38 ,9
— best best	40 ,0
— best best best	40 ,0
Barre plate laminée à froid (37 × 12 millim.)	51 ,1

Digitized by Google

On voyait encore dans la même exposition une chaîne en fer *best best best* de 12 millimètres et demi de diamètre, essayée à 7 000 kilogrammes avant rupture; l'épreuve ordinaire pour les chaînes de cette dimension est de 3 500 kilogrammes seulement. Un barreau en fer carré de 37 millimètres et demi, triple *best*, a supporté sans casser un effort de traction de 64 tonnes et demie à l'arsenal de Chatham ; il figurait déjà à l'Exposition de Londres en 1862.

Une autre usine, celle de *Regent Iron Works*, à MM. Beard et fils, de Bilston (11 fours à puddler, 2 trains), exposait des fers du Staffordshire sous forme de barres et de tôles.

Beaucoup de forges très-importantes, comme celles de *MM. David Jones et fils*, à Bilston (79 fours à puddler, 4 laminoirs), celles de la *Compagnie de Chillington*, à Wolverhampton (74 fours, 13 laminoirs) (1), celles de *MM. Bagnall et fils*, à West Bromwich (74 fours et 9 laminoirs), celles de *MM. W.-T. et J. Barrows*, à Tipton (97 fours et 10 laminoirs), etc., n'avaient rien envoyé à l'Exposition de 1867.

Le Shropshire a la spécialité des petits fers et des tréfileries. L'usine de la Trench (*the Trench Iron Company*), à Wellington Salop, possédant 30 puddlings et 3 laminoirs, exposait des feuillards et des petits ronds; ses fers bruts étaient fibreux. L'usine de l'Aigle (*the Eagle Iron Works*), dans la même ville, et ayant une importance moindre (14 fours à puddler), fabrique aussi des fers de tréfilerie. La *Compagnie de Lilleshall*, dont le principal associé est lord Granville, possède des forges près Shiffnal, et exposait du

(1) On voyait, il y a peu d'années, à Chillington, quatre hauts fourneaux assez petits accolés deux par deux, avec deux puddlings devant chaque fourneau, où la fonte arrivait au sortir du creuset (charges de 400 kilogrammes, huit charges en dix heures), et on la puddlait sur des soles en oligiste très-pur. Le samedi, quand les puddlings chômaient, on coulait la fonte dans une lingotière, où elle se blanchissait, et on la puddlait ensuite dans des fours à puddler ordinaires avec soles en *bulldogs*. L'emploi de ces *bulldogs* ou scories grillées est un des traits caractéristiques des usines du Staffordshire. On en fait un grand usage à Round Oak notamment.

Digitized by Google

fin métal, des fers puddlés et des fers marchands nerveux, des fers à câble nerveux et des billettes à grain.

Dans le nord du pays de Galles, on trouve diverses forges à Ruabon, entre autres celles de la Nouvelle Compagnie britannique (*New British Iron Company*).

Le groupe entier, composé du South Staffordshire, du Shropshire et des North Wales, comprend 2100 fours à puddler et 310 laminoirs. C'est la région la plus importante du Royaume-Uni pour la fabrication des fers laminés marchands.

Groupe du Pays de Galles. — Nous avons donné dans la première partie de ce travail une description sommaire du district sidérurgique des *South Wales*. Nous n'y reviendrons pas, et nous dirons seulement qu'en 1868 il comprenait 1169 fours à puddler et 151 laminoirs répartis dans 32 usines.

L'*usine de Dowlais*, près Merthyr Tydfil, la plus importante de toutes, possède actuellement 150 fours à puddler, 70 fours à réchauffer et 13 laminoirs complets. Elle fabriquait par semaine, en 1865, 2000 tonnes de fer fini, savoir : 1400 tonnes de rails et 600 tonnes de barres, tôles, cornières, poutrelles (pour lesquelles on a installé une machinerie spéciale), sans compter l'acier Bessemer. On y compte 9 ateliers de puddlage, dont 6 à l'ancienne usine dite *basse* et 3 à l'usine *Ivor*. Dans les fours à puddler, on traite surtout des fontes brutes, avec une faible proportion de *fine metal;* presque tous sont chauffés avec des houilles menues brûlées sur grilles ordinaires, avec cendrier ouvert et avec injection d'air forcé en filets verticaux au-dessous de la grille ; dix-huit ventilateurs de Lloyd desservent les fours à puddler. On y fait sept charges en douze heures, et on brûle par 1000 kilogrammes de fer puddlé environ 800 kilogrammes de houille, dont 650 de menus et 150 de gros charbons. Les flammes perdues des fours sont utilisées pour chauffer des chaudières à vapeur placées à l'extérieur de l'atelier. Les boules sont cinglées dans des squeezers ou sous des marteaux pilons.

M. Menelaus, directeur de l'usine, y a fait des essais de puddlage mécanique sur lesquels nous reviendrons.

Le nombre des laminoirs est considérable : le plus remar-

Digitized by Google

quable est le *laminoir de la Chèvre* (Goat Mill), dont on trouve une description dans l'ouvrage de M. Percy (*Métallurgie*, par Percy, Petitgand et Ronna, t. IV, p. 160), et dont nous aurons à parler plus tard.

La superficie actuelle de l'usine de Dowlais et des terres qui en dépendent est d'environ 4 000 hectares ; son service occupe 13 locomotives et 600 à 700 chevaux. Les ouvriers, au nombre de 8 000 à 9 000, reçoivent leurs salaires en espèces tous les samedis matin, et la paye s'élève à plus de 175 000 francs par semaine. Les propriétaires de Dowlais, depuis sir John Guest, qui peut en être considéré comme le fondateur réel, jusqu'à sir Ivor Guest, son héritier actuel, se sont toujours beaucoup préoccupés de l'amélioration de la situation matérielle et morale des ouvriers ; et les institutions, écoles, caisses de secours pour les malades, caisse d'épargne, bibliothèque créées pour leur usage ne le cèdent en rien à celles de nos grandes usines françaises.

Dans les environs de Merthyr Tidfil se trouvent aussi les *usines de Cyfarthfa et Ynisfach*, appartenant à M. Robert Crawshay. Ces forges contiennent 60 fours à puddler et 12 laminoirs ; elles peuvent produire par semaine 1 000 à 1 200 tonnes de fer puddlé brut, et les laminoirs sont capables de finir 1 200 à 1 400 tonnes de fer pendant le même temps. On emploie dans tout l'établissement 400 chevaux et 4 locomotives, et le nombre des ouvriers atteint presque 5 000. Les machines en fonctionnement sont toutes assez massives, et un peu vieillies; on emploie encore sur une assez grande échelle les moteurs hydrauliques. (Il n'y a pas moins de cinq grandes roues hydrauliques servant à activer les appareils du puddlage, sans compter celles qui servent pour les laminoirs.)

Les *usines de Plymouth et Dwffryn*, à MM. Fothergill, Hankey et Bateman (70 fours à puddler, 7 laminoirs), ont la réputation de fabriquer des fers d'une ténacité exceptionnelle. C'est là que M. Anthony Hill eut le premier l'idée de repasser dans les hauts fourneaux les scories de puddlage et de réchauffage.

Digitized by Google

Enfin l'*usine de Penydarran*, également peu distante de Merthyr Tidfil, a eu l'honneur de fabriquer les premiers rails qui ont été employés en Angleterre. C'est aussi là qu'en 1804 MM. Trevithick et Vivian construisirent la première locomotive.

Parmi ces usines de Merthyr Tidfil, celle de Dowlais seule était représentée à l'Exposition de 1867, et encore d'une manière peu large.

Dans la vallée de la Taff, on trouve encore la grande *usine d'Aberdare*, avec 60 fours à puddler et 4 laminoirs, et d'autres moins considérables.

L'*usine de Cwm Avon*, appartenant à la Compagnie des mineurs de cuivre, est située près de Port-Talbot, et avait exposé des fers laminés et des tôles diverses. Celle d'*Ystalifera* (42 fours à puddler), près de Swansea, exposait aussi des fers et des tôles obtenus par le puddlage de fontes à l'anthracite.

Dans le Monmouthshire se trouvent les quatre forges de la *Compagnie d'Ebbw Vale* (*Abersychan et Pentwyn*, *Victoria*, *Ebbw Vale* et *Pontypool*), comprenant ensemble 182 fours à puddler et 19 trains à fers finis. L'ouvrage de M. Percy renferme un plan de la forge d'Ebbw Vale. A Abersychan, il y a 18 fours à puddler, 6 fours à corroyer et 16 fours à réchauffer, avec 1 train puddleur, 1 train à corroyer et 1 train marchand. Chaque four à puddler peut faire 280 tonnes de fer brut par semaine en consommant 812 kilogrammes de houille par tonne. Chaque four à corroyer peut fournir 360 tonnes par semaine, avec une consommation de 525 kilogrammes de houille par tonne. La Compagnie d'Ebbw Vale n'était pas dans une situation très-prospère en 1867, et n'avait rien exposé.

Dans ce même comté de Monmouth, il faut encore citer les grandes usines de :

Blaina, *Cwn Celyn* et *Coalbrookdale*, avec 32 fours à puddler ;

Blænavon, avec 76 fours ;

Rhymney, avec 89 fours ;

Digitized by Google

Tredegar, avec 70 fours à puddler.

Celle de Blænavon seule avait envoyé à l'Exposition des rails divers, des cornières, des fers à T, des poutrelles, des fers à boudin, etc.

Les fers du pays de Galles se fabriquent avec des fontes provenant de minerais assez variés; aussi obtient-on toutes les qualités, depuis les plus ordinaires jusqu'aux qualités supérieures.

RÉSUMÉ. — La Grande-Bretagne a maintenu sa supériorité jusqu'à présent dans la fabrication des fers provenant de l'affinage à la houille : les fours à puddler et les divers appareils de la forge sont aussi perfectionnés qu'en France, et la qualité des houilles employées est généralement supérieure, ce qui aide singulièrement au travail. On fabrique toutes les qualités de fers depuis les fers ordinaires médiocres du Cleveland et du pays de Galles jusqu'aux fers supérieurs de Lowmoor et de Bowling. Ces différences de qualités ne proviennent pas seulement de la diversité des minerais employés pour la fabrication de la fonte, mais encore du nombre des corroyages. Avec la même fonte on fabrique souvent quatre espèces de fers : le fer ordinaire, le *best* (meilleur), le *best best* et le *best best best*, ce dernier ayant subi un triple corroyage. On trouvera dans l'édition anglaise de la *Métallurgie* de M. Percy un prix courant complet de ces diverses natures de fer en 1863.

TROISIÈME SECTION

Fabrication des fers puddlés en Belgique.

C'est en 1821 que M. Orban établit à l'usine de Grivegnée les premiers fours à puddler et le premier laminoir pour fer en barres que l'on ait vus en Belgique. L'usine de Seraing, dirigée par M. Cockerill, suivit bientôt cet exemple. Dans le district de Charleroi, il n'y avait en 1829 que deux fabriques de fer à la houille, savoir : celle d'Acoz, à M. de Dorlodot, et celle de Fayt, à M. Dupont. Depuis lors, le progrès a marché rapidement ainsi que le montre le tableau suivant :

Digitized by Google

	1845	1855	1864
Fabriques de fer du Hainaut. . .	29	30	38
— de Liége. . . .	19	17	15
— de Namur. . .	39	36	26
— diverses. . . .	18	15	3
Total. . . .	105	98	82

A mesure que le fer à la houille gagnait du terrain, le nombre des usines diminuait. Actuellement une bonne partie des 82 usines de 1864 se sont encore fermées, et il y a seulement environ 30 forges à la houille, comprenant environ 400 fours à puddler.

La production de fer a passé de 54 610 tonnes en 1845 à 320 642 tonnes en 1864.

Ce sont les établissements du groupe de Charleroi qui doivent être placés en première ligne comme importance. La province de Liége possède cependant aussi quelques grandes usines; mais celle de Namur a vu décliner la plupart des siennes.

Groupe de Charleroi. — Les usines les plus considérables sont les *fabriques de Couillet et Chatelineau*, aujourd'hui associées sous la même gérance, et qui comptent ensemble 63 fours à puddler et 27 fours à réchauffer. Elles ont produit, en 1867, 40 500 tonnes de fers finis. Elles sont devenues classiques dans les cours de métallurgie, et on trouve dans l'ouvrage de Valerius beaucoup de détails sur leur outillage, qui était en 1865 un peu vieilli. On voyait au Champ de Mars, en 1867, une assez belle exposition de leurs produits en rails, fers marchands et tôles.

L'*usine de Montigny-sur-Sambre* (22 fours à puddler et 8 fours à réchauffer) avait l'exposition la plus remarquable de la section belge, au point de vue de la fabrication du fer. On y remarquait une série de fers bruts (ou *fers ébauchés*, suivant l'expression belge), classés suivant les usages spéciaux auxquels ils sont destinés, savoir :

Ebauché n° 1, pour fers tendres (cassure à gros grain plat);

Digitized by Google

Ebauché n° 2, pour fers métis (cassure mélangée de gros grain et de nerf) ;

Ebauchés n° 3 et n° 3 première qualité, pour fers marchands forts (cassure à nerf) ;

Ebauchés n° 4, pour fer marchand nerveux ou fer à câbles (cassure nerveuse) ;

Ebauchés spéciaux, pour cannes de verrerie (cassure à gros grain), pour rivets (cassure à fin grain), pour palatres, feuillards, pour fer cavalier, pour broches de filature (cassure à fin grain), pour fer à platiner ;

Ebauché fin grain, pour tréfilerie, rivets, etc.

Ebauché pour acier puddlé marchand ;

Ebauchés pour fer à spater, pour serrurerie, pour coutellerie, etc.

Parmi ces fers ébauchés, les uns sont laminés sous forme de barres plates (pour fer marchand, pour acier marchand), les autres sous forme de billettes carrées (pour tréfilerie, pour rivets, pour feuillards, couteaux, etc.). Ils s'obtiennent par le puddlage des fontes spéciales diverses fabriquées à Montigny même. Les déchets et les consommations de charbon varient beaucoup avec la nature des ébauchés : pour les fers tendres et métis, on brûle 1 020 kilogrammes environ de houille pour 1 000 kilogrammes de fer ébauché, et on fait un déchet de 8 à 9 pour 100 seulement sur la fonte ; pour les fers à fin grain et l'acier, on brûle 1 600 à 1 800 kilogrammes de houille par 1 000 kilogrammes d'ébauché et on fait un déchet de 16 à 17 pour 100 environ.

L'usine de Montigny exposait aussi ses fers marchands (n°s 1, 2, 3, 3 première qualité, 4, fin grain, aciéreux) et des fers spéciaux pour cannes de verriers, pour rivets, pour câbles, cavaliers, pour broches, pour platiner (cassure nerveuse), pour cages d'extraction, des feuillards, des petits ronds de tréfilerie, des rails et des fers profilés de diverses sortes. Elle possède trois ou quatre trains de laminoirs marchands. La consommation de fer ébauché est voisine de 1 150 kilogrammes par 1 000 kilogrammes de fer marchand, et on fait 5 à 7 pour 100 de bouts coupés.

Digitized by Google

L'usine de Montigny, dirigée par M. Albert Gendebien, a fabriqué, en 1866, 15 000 tonnes de fers finis, et 12 800 tonnes en 1867.

Deux usines importantes : la *fabrique de fer d'Acoz* et le *laminoir à rails de Chatelineau*, appartiennent à MM. de Dorlodot frères.

Le premier de ces établissements est situé sur la Brisne et fut le berceau des usines d'Acoz en 1758. Après différentes transformations et des agrandissements successifs dus en majeure partie aux propriétaires actuels, il réunit aujourd'hui les machines et appareils suivants : 2 trains puddleurs avec machine horizontale de 60 chevaux ; 1 train à fers marchands avec fenderie, conduit par une machine à balancier de 40 chevaux ; 28 fours à puddler et 3 fours à réchauffer ; 1 marteau pilon cingleur de 2 200 kilogrammes ; 1 presse à cingler ; 1 scie à vapeur de 4 chevaux pour affranchir les fers marchands, sans parler des cisailles, pompes, générateurs, etc., nécessaires. A côté se trouve un *laminoir à fers marchands* monté en 1859 par M. E. de Dorlodot et comprenant 3 fours à réchauffer, 1 train marchand et 1 petit mill desservis par une machine horizontale de 40 chevaux, avec leurs accessoires. La production annuelle de ces deux laminoirs réunis peut atteindre 30 000 tonnes de fers ébauchés ou 15 000 tonnes de fers marchands, fendus ou spéciaux, pour lesquels on emploie 33 000 tonnes de houille ; ils occupent 335 ouvriers.

Le *laminoir à rails de Chatelineau*, établi près de la station de ce nom et sur les bords de la Sambre, est un vaste établissement pour la fabrication des rails, poutrelles et gros fers, établi il y a quelques années par l'initiative de M. E. de Dorlodot, et qui pourrait servir de modèle. Il réunit les procédés de fabrication et les appareils les plus perfectionnés connus jusqu'à ce jour dans ce genre d'industrie. Il contient 32 fours à puddler, 14 à réchauffer, 2 pilons cingleurs de 2200 kilogrammes, 2 presses à cingler et 4 trains puddleurs mus par 2 machines pyramidales à action directe de 100 chevaux chacune. La production annuelle est de 36 000

Digitized by Google

tonnes de fers ébauchés, qui, avec une partie de la fabrication d'Acoz, servent à produire 45 000 tonnes de rails ou poutrelles pour lesquelles on consomme 51 000 tonnes de houille, y compris le puddlage, bien entendu. Le laminoir de Chatelineau occupe 1 000 ouvriers.

MM. de Dorlodot exposaient en 1867 une belle série de rails et fers marchands. Par suite de la crise commerciale, ils n'ont fabriqué en 1866 à Acoz que 13 000 tonnes de fers finis et 1 500 tonnes de fers ébauchés, et à Chatelineau que 34220 tonnes de fers finis.

L'*usine de la Providence*, qui compte 25 fours à puddler et 12 à réchauffer, n'avait rien exposé dans la section belge en 1867.

M. Constant Bonehill, de Monceau-sur-Sambre, exposait des fers marchands moyens et petits, des feuillards, des fers à câbles, à rivets, pour canons de fusil et lames de scie.

Les *forges de la Vieille-Sambre* (Aug. Gallez et C°, de Châtelet), quoique d'une importance médiocre (13 fours à puddler et 5 à réchauffer), sont remarquables par leur bonne installation et la bonne direction du travail. Elles avaient une belle exposition de fers marchands, à fin grain, métis et nerveux, ainsi que de feuillards; on y voyait notamment un feuillard de 25 millimètres sur 1 millimètre d'épaisseur, ayant 70 mètres de longueur, sans parler de la série des feuillards cotés en millimètres (15 × 7/10, 20 × 9/10, 25 × 1, 65 × 1, 95 × 1 2/10, 110 × 1 3/10, 160 × 1 2/10).

Les *forges du Phénix* (Gustave Dumont et C°, à Chatelineau) exposaient des fers ébauchés spéciaux pour tréfilerie, à fin grain, à canons, à taillant, à clous.

MM. Blondiaux et C°, à Thy-le-Château, ont une des forges importantes du groupe (24 fours à puddler, 8 fours à réchauffer), et ont fabriqué en 1866 plus de 34 000 tonnes de fers bruts et finis. Ils s'occupent surtout de fabrication de rails.

M. F.-J. Dupont possède 2 hauts fourneaux à Chatelineau, 1 haut fourneau et 1 laminoir à Bois-d'Haine, une forge pour fers battus à Feluy-Arquennes, des laminoirs,

Digitized by Google

fonderies et ateliers à Fayt, près Manage, sans compter l'usine de Crespin, en France. Il exposait des essais de fer et du matériel de chemin de fer.

La *Société des forges de Zone* possède à Marchienne-au-Pont, à 3 kilomètres de Charleroi, 14 fours à puddler et 6 fours à réchauffer ; elle occupe 200 ouvriers environ dans une usine assez ancienne qui a fabriqué 8 000 tonnes de fers finis en 1866. Elle exposait des fers supérieurs (pour crochets de houillères), des fers extra, des tôles, des feuillards (parmi lesquels un de 166 millimètres sur un demi-millimètre.

MM. Bonehill frères, de Marchiennes-au-Pont, qui fabriquent surtout des fers spéciaux ; la *Compagnie des laminoirs du Centre*, à la Louvière, qui fait des tôles et des larges plats (10 mètres de long et 600/9 millimètres entre autres); *MM. Victor Gilliaux et Ce*, de Charleroi, qui ont la même spécialité ; *MM. Baillieux et Ce*, de Monceau-sur-Sambre ; *M. Schumacher frères*, de Chatelineau, qui fabriquent des petits fers (machine, à câbles, à rivets, etc.) et des fers profilés (fers à vitrages), avaient aussi exposé, de sorte que les fabriques de fer du groupe de Charleroi étaient largement représentées.

Ce groupe, en 1866, comptait 314 fours à puddler et 136 fours à réchauffer, ayant fabriqué 39 853 tonnes de fers bruts et 207 754 tonnes de fers finis, malgré la crise qui pesait sur la métallurgie belge par suite de la hausse exagérée du prix de la houille.

On compte à Charleroi que, pour fabriquer 1 tonne de fer fini, il faut 1 000 à 1 200 kilogrammes de houille employée au puddlage, et 500 à 600 au réchauffage, en tout 1 500 à 1 800 kilogrammes.

Groupe du pays de Liége. — L'usine la plus considérable du groupe, comme de toute la Belgique, est l'*usine John Cockerill, à Seraing*. Pour citer seulement ce qui est relatif à la fabrication du fer, elle comprend 68 fours à réverbère, 1 moulin à loupes, 5 marteaux pilons ou à soulèvement et 12 trains de laminoirs. La fabrique de fer occupe 985 ouvriers spéciaux et des machines à vapeur représentant une

Digitized by Google

force de 532 chevaux ; elle produit annuellement environ 26000 tonnes de fers finis. Il y a à Seraing 3 ateliers de puddlage qui possèdent trois outils différents de cinglage : moulin à loupe, squeezer, marteau frontal, sans compter 2 marteaux pilons de 1 500 kilogrammes. On fait ordinairement neuf charges de 230 kilogrammes de fonte en douze heures, en obtenant 1 800 kilogrammes de fer au moins, pour lesquels on brûle 1 600 kilogrammes de houille. On fabrique des tôles, des rails, des fers marchands et des fers forts pour les constructions industrielles. A l'Exposition de 1867, l'usine John Cockerill exposait seulement des fers bruts de diverses catégories.

La *Société anonyme de la fabrique de fer d'Ougrée* exposait des barres puddlées à fin grain, des loupes cinglées au marteau, des fers corroyés nerveux pour tôles minces, des fers pour taillanderie à fin grain et des tôles diverses.

La *Société des hauts fourneaux d'Ougrée* possède aussi un laminoir et exposait des fers bruts et corroyés.

L'*usine de l'Espérance*, à Seraing, exposait des tôles cotées de 22 à 40 francs les 100 kilogrammes ; elle avait des feuilles de $3^m,00 \times 1^m,80$ ayant 1 millimètre d'épaisseur, et des plaques rondes de $2^m,01$ de diamètre sur 10 millimètres d'épaisseur.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, les usines de Sclessin et de Grivegnée ne figuraient pas à l'Exposition.

En 1866, les fabriques de fer du pays de Liége ont fourni 90 000 tonnes environ de fers finis.

Quant au pays de Namur, il renferme quelques fabriques de tôles sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

Les *Pays-Bas* ne possèdent, croyons-nous, qu'une seule fabrique de fer, qui est située à *Cappelle-sur-Yssel*, dans la Gueldre, et qui est alimentée de combustible par le bassin houiller de la Ruhr.

Digitized by Google

QUATRIÈME SECTION

Fabrication des fers puddlés en Allemagne.

La fabrication du fer à la houille en Allemagne se fait par les procédés ordinaires ; les centres les plus importants sont la Prusse rhénane et la Silésie. Voici les quantités fabriquées dans les États prussiens en 1867 :

Silésie.	302 fours à puddler	99 440 tonnes.
Brandebourg. .	16 —	5 190 —
Saxe.	8 —	1 704 —
Prusse rhénane.	823 —	334 850 —
Hesse	1 —	143 —
Total. . . .	1150 fours à puddler	441 327 tonnes.

Voici maintenant la production totale en fer des États du Zollverein pendant l'année 1865 :

Prusse	404 295 tonnes.
Hanovre.	1 132 —
Hesse électorale.	1 106 —
Nassau	2 257 —
Anhalt	229 —
Lippe, Waldeck et Pyrmont . .	152 —
Bavière.	38 666 —
Saxe royale	18 035 —
Wurtemberg.	8 325 —
Bade	3 425 —
Hesse grand-ducale	437 —
Etats unis de Thuringe.	2 172 —
Brunswick	4 251 —
Oldenbourg	8 742 —
Total. . . .	493 224 tonnes.

On voit que la Prusse produit les quatre cinquièmes du fer obtenu dans l'association allemande, et que la presque totalité du fer prussien est du fer à la houille.

On a essayé dans quelques localités le puddlage à la tourbe, au bois ou au gaz, mais ces systèmes ont peu réussi

Digitized by Google

On emploie le lignite comme combustible dans deux ou trois usines, mais le puddlage ne présente rien de particulier.

GROUPE DU BASSIN DE LA RUHR. — Le bassin houiller de la Ruhr alimente un grand nombre de laminoirs, dont quelques-uns étaient représentés au palais du Champ de Mars en 1867.

L'*usine Hermannshütte*, à Hœrde, est sans contredit la plus importante ; elle a produit, en 1867, 32 876 tonnes de fers et aciers. Elle comprend 76 fours à puddler, 80 fours à réchauffer et à souder, 16 trains de laminoirs avec 46 équipages ; les machines à vapeur, au nombre de 45, parmi lesquelles une de 1 000 chevaux, fournissent une force cumulée de 2 600 chevaux ; il y a encore 24 marteaux pilons, pesant de 250 à 10 000 kilogrammes (soit en tout 85 000 kilogrammes), et 78 chaudières à vapeur. On puddle à Hœrde presque uniquement des fontes grises n°s 3 et 4, dans des fours dont les autels sont à circulation d'eau. (Comme l'eau est rare, il y a sur chaque four un réservoir communiquant avec les autels, de sorte que la circulation de l'eau se fait par l'effet de la différence de densité). Les fers bruts qu'on obtient sont de qualité supérieure, et on fabrique des rails, des bandages, des essieux, des fers marchands et profilés, des tôles, des pièces de forge, etc. Les essais sur la résistance absolue de ces fers, pratiqués sur des tôles de 6 à 10 millimètres, aussi bien que sur des cornières et fers à T de toutes dimensions, ont donné, dit-on, pour le fer à grain fin, 43^{k},1 à 46 kilogrammes par millimètre carré, et pour le fer à nerf, 32^{k},8 à 35^{k},8.

On expérimentait à Hœrde, en 1868, le procédé de puddlage à l'air Richardson, dont nous parlerons plus loin.

Hermannshütte exposait en 1867 des spécimens divers de fers essayés à froid et à chaud ; elle a été longtemps dirigée par M. Daelen, l'inventeur du laminoir universel, métallurgiste dont la réputation est européenne.

Après les usines de Hœrde, il faut citer les *usines de la Société du Phénix métallurgique*, qui, outre les hauts fourneaux dont nous avons parlé dans la première partie, possède une fabrique de fers marchands et de rails à Laar, près

Digitized by Google

Ruhrort, et une fabrique de fers spéciaux, de tôles, d'essieux, bandages, pièces de forge à Eschweiler-Aue. Dans ces deux usines on compte 79 fours à puddler, 45 fours à souder, 1 four de finage, 14 trains de laminoirs et 21 marteaux pilons (jusqu'à 10 tonnes). En 1865-1866, elles ont produit 36500 tonnes de fer et d'acier laminés.

L'*usine de Laar*, près Ruhrort, est très-importante : elle compte deux ateliers de puddlage, l'un pour fer, l'autre pour acier. Les fours à puddler sont disposés de façon à ce qu'on puisse piquer le feu et enlever les escarbilles par une galerie souterraine ; la sole en fonte est formée de cinq plaques qui peuvent être remplacées facilement : les cordons sont en fonte à circulation d'eau et à circulation d'air ; il n'y a pas de petites soles réchauffeuses (on n'a pu arriver à Ruhrort à obtenir un bon résultat avec ces petites soles), et les flammes perdues chauffent des chaudières à vapeur horizontales. Dans un atelier de trente-deux fours à puddler pour fer, on effectue le cinglage au moyen d'un squeezer, de deux marteaux à soulèvement en dessous et d'un pilon. Le train de puddlage à trois cages est conduit par une machine horizontale à action directe, dont le piston a 1^{m},50 de course environ, et qui fait 60 tours par minute.

En Westphalie, on préfère, pour conduire les laminoirs, des machines horizontales sans condensation, avec peu de détente (par avance et recouvrement du tiroir seulement), et on ne dépasse pas 270 mètres de vitesse du piston par minute. Il y a à Laar un four de mazéage, mais on ne l'emploie que pour les bocages, vieilles lingotières, vieux cylindres de laminoirs, etc., qu'on veut transformer en fer.

L'*usine d'Eschweiler-Aue*, entre Aix-la-Chapelle et Cologne, possède 28 fours à puddler et tout le matériel nécessaire à une fabrication très-variée.

L'exposition de la Société du Phénix faisait honneur à la direction de ses établissements ; outre des spécimens de cassures de fer fort à fin grain, de fer fort nerveux, on y voyait un assortiment de fers spéciaux remarquablement profilés, des rails de diverses natures et pièces de forge té-

Digitized by Google

moignant d'une singulière habileté de l'ouvrier et d'une qualité supérieure de la matière. Nous citerons seulement maintenant un trépied fort original, formé de trois essieux de wagons de 12 à 15 centimètres de diamètre, supportant une calotte renversée en fer embouti de 1 centimètre d'épaisseur environ : celle-ci a son bord replié deux fois à angle vif, une fois horizontalement et une fois verticalement ; chaque pied formé d'un essieu présente les courbures d'un trépied antique, et, en outre, il porte un nœud formé à froid.

L'*usine de Heinrichshütte*, près Hattingen, exposait des fers bruts et des fers spéciaux divers. Sa fabrication peut s'élever à 18000 tonnes par an de tôles, rails, fers marchands et spéciaux, et elle occupe 600 ouvriers environ en dehors des hauts fourneaux et ateliers de construction. L'importante *forge de la Société Neu Schottland*, à Horst, près Steele, n'avait rien exposé : elle compte 30 fours à puddler et fabrique surtout des rails.

L'*usine de Schœnthal*, près Wetter, à MM. Harkort et fils, comprend une forge et une fonderie d'acier. La forge possède 15 fours à puddler, 7 fours à souder, 6 fours à tôle et les dépendances, et elle produit avec 300 ouvriers 8750 tonnes de fer et d'acier. Elle exposait des fers fins pour outils divers, des tôles douces embouties et des essais de travail à chaud et à froid.

L'*usine de la Société de Neu-Œge* (10 fours à puddler) exposait des tôles et des fers blancs. *MM. Cosack et C*e de Hamm (26 fours à puddler, 10 fours à souder, 21 machines à vapeur), avaient envoyé des fers à grain et à nerf de belle qualité, des essieux, des fils de fer, des câbles, etc. : un fil de fer n° 18 (34/10 de millimètre de diamètre) supportait un poids de 531 kilogrammes et était annoncé comme pouvant supporter 770 kilogrammes.

MM. Hobrecker, Witte et Herbers, de Hamm (21 fours à puddler), fabriquent uniquement du fil de fer. La *forge de Limburg sur la Lenne* (9 fours à puddler) et celle de *MM. Asbeck, Osthaus, Eicken et C*e, de Hagen, exposaient des fers et

Digitized by Google

des aciers. Les fers de ces usines sont uniquement des fers de première qualité, à fin grain, fabriqués avec les meilleures fontes; on les emploie surtout dans les fabriques d'armes de l'intérieur, et on en vend aussi à l'exportation en concurrence avec les fers au bois de Suède et d'Autriche.

Dans le bassin de la Ruhr se trouvent, en outre, plusieurs forges importantes, comme :

Celle de *MM. Jacobi, Haniel et Huyssen*, à Oberhausen (44 fours à puddler);

Celle de la *Société de l'industrie du fer*, à Oberhausen (23 fours à puddler) ;

Le laminoir à tôles de *MM. Bicheroux frères*, à Neudorf, près Duisburg (8 fours à puddler, 4 fours à réchauffer);

La forge de Dortmund, à *MM. G. Arndt et C*e (22 fours à puddler) ;

Celle de Wehringhausen, à *MM. Funke et Elbers* (30 fours à puddler);

Et bien d'autres encore qui n'avaient pas exposé en 1867.

Le pays de Siegen possède maintenant plusieurs fabriques de fer à la houille. La *maison Dresler* possède un puddlage et un laminoir à tôles à Geisweid, avec 12 fours à puddler, 4 fours à souder et 10 fours à tôles ; on y fabrique annuellement 3250 tonnes de fer brut. La même maison a un autre puddlage à Hammerhütte, près Siegen, avec 4 fours à puddler ; il produit annuellement 1 100 tonnes de fer brut.

M. Schneider, de Neunkirchen, possède un puddlage et un laminoir à Witten.

Les fers, qui proviennent des excellentes fontes manganésées de Siegen, se comportent pour la plupart des usages aussi bien que les fers provenant de fontes au bois.

Entre Siegen et Cologne se trouve l'*usine de Friedrichs-Wilhelm*, près Troisdorf, où on travaille aussi, pour fer fin et pour acier, les fontes pures provenant des minerais du pays. Elle n'avait pas exposé.

L'*usine de Concordia*, près Muhlofen, sur le Rhin, était dans le même cas.

Digitized by Google

L'*usine de la Germania*, près Neuwied (voisine de Coblentz), qui possède 3 fours à puddler, exposait les tôles et les fers-blancs qui composent sa spécialité.

GROUPE DES BASSINS DE L'INDE ET DE LA SAAR. — Ce groupe comprend toutes les forges situées sur la rive gauche du Rhin.

L'*usine d'Alf-sur-Moselle*, appartenant à MM. F. Remy et Ce, possède 8 fours à puddler ; elle fabrique annuellement environ 2 000 tonnes de fers de première qualité, avec les fontes au charbon de bois de l'Eifel ; elle exposait des fers bruts d'aspect assez ordinaire, et des fers trois fois corroyés qui sont employés pour la fabrication des fusils à aiguille à Sœmmerda et Spandau.

Entre Cologne et Aix-la-Chapelle, on trouve à Eschweiler-Aue l'usine de la Société du Phénix, dont nous avons déjà parlé ; à Eschweiler même, la *forge de MM. E. Hoesch et fils* (35 fours à puddler), qui fabrique 12 500 tonnes environ de fers marchands par an.

A Aix-la-Chapelle, la *forge de Rothe-Erde* (27 fours à puddler, 12 à réchauffer), fournit annuellement 9 à 10 000 tonnes de fer ; elle avait exposé des essais divers, des fers spéciaux et des petits fers de tréfilerie.

Sur le bassin houiller de Saarbrück même et aux portes de cette ville est l'importante *usine de Burbach*, qui comprend 36 fours à puddler, 15 fours à réchauffer, et qui a fabriqué, en 1866, 9 185 tonnes de fers spéciaux et 11 800 tonnes de rails et éclisses. Elle traite les fontes au coke produites dans ses fourneaux, et qui sont généralement blanches ; quelques-unes de ses fontes sont produites avec une addition de minerais manganésés du pays de Nassau ; les puddleurs font en moyenne par douze heures neuf charges de 225 kilogrammes de fonte.

L'*usine de Neunkirchen*, près Saarbrück, à MM. Stumm frères, possédant 36 fours à puddler, et des succursales à Halberg (pour les essieux) et à Fischbach (pour la fonderie), exposait des feuillards, des fers marchands, des larges plats, ainsi que des rails : sa puissance de fabrication annuelle est environ de 25 000 tonnes.

Digitized by Google

La *Société des forges de Dillingen* a 7 usines : à Dillingen, Munchweiler, Bettingen, Hohenrhein et à Geislantern, avec 25 fours à puddler, 23 feux d'affinerie, 33 fours à réchauffer, 43 fours à réchauffer divers et 17 trains divers. Elle fabrique presque exclusivement des tôles de toute nature ; à l'Exposition de 1867, on voyait ses fers bruts à nerf et à fin grain.

Groupe de Silésie. — La Silésie était assez mal représentée à l'Exposition. Les usines les plus connues, les *usines royales de Kœnigshütte*, qui comprennent une fabrique de fer à Alvensleben, et qui fabriquent annuellement 17 à 18 000 tonnes de fer, avaient une étagère couverte d'échantillons sans classement et sans étiquettes qui ne pouvaient renseigner sur l'habileté ou la spécialité de la fabrication. D'après le catalogue officiel, les travaux de 1865 se résument ainsi qu'il suit :

On a fabriqué à Kœnigshütte, au moyen de 2 fours à réverbère, système Eck, et de 1 feu de finerie anglaise, sans compter les moulages, 3 488 300 kilogrammes de fonte mazée ou fin métal.

A Alvensleben, on a traité, dans 38 fours à puddler, 24 631 680 kilogrammes de fonte et de fin métal, et on a obtenu 21 204 425 kilogrammes de fers puddlés en barres, ce qui correspond à un déchet de 13,9 pour 100. Les laminoirs finisseurs ont livré pendant l'année :

Fers marchands ordinaires.	9 280 606 kil.
Petits fers	1 472 124 —
Tôles.	1 516 645 —
Fers spéciaux.	32 989 —
Rails.	4 722 094 —
En tout. . .	17 024 458 kil.

L'usine d'Alvensleben occupait pendant cette année 1 056 ouvriers.

En 1867, elle comprenait 50 fours à puddler, 24 fours à réchauffer, 1 four à tôles et 7 trains de laminoirs, et elle fabriquait 20 972 tonnes de fers finis en occupant 1 208 ouvriers. Le déchet total moyen depuis la fonte jusqu'aux fers

Digitized by Google

finis varie de 30 à 37 pour 100 ; la consommation totale de houille, y compris le puddlage, varie de 4 800 à 5 000 kilogrammes par tonne de fers finis. La houille qu'on brûle pour le puddlage est maigre et friable. Les fontes puddlées qui proviennent des hauts fourneaux de Kœnigshütte sont de qualité assez médiocre, et, malgré divers essais, on n'a pu arriver à les employer pour la fabrication de l'acier.

L'usine d'Alvensleben, comme celle de Kœnigshütte, coûte probablement plus d'argent annuellement au gouvernement qu'elle ne lui en rapporte ; on doit les considérer comme des usines-écoles, où les ingénieurs du corps royal des mines prussien viennent se livrer à des essais de pratique variés.

L'*usine de Laurahütte*, appartenant au comte Hugo Henckel de Donnersmark, possède 50 fours à puddler, 19 fours à réchauffer et les accessoires. Elle occupe, au puddlage et au laminage, 1 109 ouvriers, et fabrique annuellement 22500 tonnes de rails, fers marchands et tôles. Son exposition était aussi très en désordre ; on y remarquait cependant des essais témoignant de la bonne qualité de ses fers, entre autres un chapeau de mineur en tôle emboutie à froid, dont le ruban était formé d'un feuillard noué à froid également.

L'*usine de Pielahütte*, près Rudzinitz, appartenant à M. G. H. Ruffer, fabrique annuellement environ 9 000 tonnes de fers divers, avec 20 fours à puddler, 11 fours à réchauffer et les appareils, activés par une force motrice de 260 chevaux. Elle exposait diverses cassures à grain et à nerf.

Il y a un assez grand nombre d'autres usines en Silésie, parmi lesquelles nous citerons encore celle de *Marthahütte*, propriété de M. de Tiele-Winkler, qui fabrique plus de 10 000 tonnes annuellement.

Toutes ces usines silésiennes ne présentent rien de bien particulier comme procédés ou appareils. Toutefois nous devons dire quelques mots du four de finage au gaz employé à Kœnigshütte, et dont un modèle en bois figurait à l'Exposition sous le nom de *four de finage d'Eck*. Nous donnons à la planche XXIV, fig. 2, 3 et 4, le croquis de ce modèle.

Le four d'Eck est un four à réverbère chauffé par les

Digitized by Google

gaz produits dans un générateur accolé à la sole ; celle-ci est creuse pour pouvoir contenir la charge de fonte. Le générateur a la forme d'un prisme vertical à section rectangulaire ; on le charge par une toquerie située au haut d'un des petits côtés, et il est soufflé par une tuyère située au bas et au milieu d'un des longs côtés. Au bas, du côté opposé à celui où se trouve la toquerie, existe une ouverture pour le décrassage. Les gaz produits dans ce générateur passent par un rampant dans le laboratoire du four, qui a une forme rectangulaire. Ce laboratoire présente deux portes de chargement au milieu de ses longs côtés, et deux autres portes plus petites vers l'extrémité voisine du rampant, par où s'échappe la flamme dans la cheminée. Les gaz sont brûlés, au sortir du générateur et à l'entrée du laboratoire, par une série de jets d'air lancés par une boîte inclinée, qu'alimentent deux tuyaux à vent. Deux tuyères obliques, placées à côté des portes de travail et au niveau supérieur du bain métallique, servent à envoyer le vent qui opère le finage de la fonte. La cheminée est très-vaste, et il y a contre cette cheminée une porte placée sur le prolongement du grand axe de la sole. On coule par un trou situé au-dessous d'une des portes de travail. La sole est faite en sable un peu argileux, qui résiste bien aux hautes températures.

On charge 2 000 kilogrammes de fonte grise, qui sont fondus en trois heures environ, avec une consommation de $3^{h},25$ environ de charbon. Après la fusion, on jette $2^{k},250$ de castine sur le bain, et on commence le mazéage, au moyen des tuyères latérales, en introduisant de temps en temps un peu de castine (en tout 20 kilogrammes environ). Le mazéage dure de deux heures et demie à cinq heures, suivant le résultat qu'on veut obtenir (fonte serrée pour la fabrication des canons, fonte qui se trempe pour la fabrication des cylindres de laminoirs, ou fin métal pour le puddlage). L'effet de cette opération est surtout de diminuer la proportion de silicium, qui s'élève jusqu'à 3 et 4 pour 100 dans les fontes grises de Kœnigshütte, pour descendre à 0,50 pour 100 environ dans la fonte raffinée. Malheureusement la teneur en

Digitized by Google

soufre et en phosphore ne diminue point : la nature siliceuse de la sole empêche que les scories qui se forment soient assez basiques, assez riches en oxyde de fer pour absorber le phosphore du bain en le maintenant à l'état de phosphate de fer.

Dans la province de Brandebourg, et non loin de Potsdam, se trouve l'*usine de Moabit*, appartenant à M. A. Borsig, qui traite des fontes de Silésie et produit annuellement 9 à 10 000 tonnes de fers en barres et de tôles, sans parler de l'acier fondu. Cette usine avait exposé des pièces de forge remarquables sur lesquelles nous aurons à revenir, mais aucune cassure ne permettait de juger de la texture de ses produits.

Usines allemandes diverses. — Dans le Nassau, l'usine la plus importante est celle de *Neuhoffnunghütte*, près Herborn, appartenant à MM. Wilhelm-Ernst Haas et fils. Elle compte cinq fours à puddler, et exposait des fers ronds et carrés, des fers plats pour armurerie, serrurerie, maréchalerie, provenant du puddlage de fontes au bois et présentant une qualité supérieure. L'*usine de Wilhelm*, près Fleisbach, fabrique des tôles puddlées de fonte au bois.

Le Wurtemberg possède des fours à puddler à Wasseralfingen, à Kœnigsbronn, à Itzelberg; la houille y est chère, aussi a-t-on essayé le puddlage au gaz de tourbe.

A Hammerau et à Ebenau, en Bavière, ainsi qu'à l'usine royale bavaroise *Maximilianshütte*, près Bergen, on a essayé l'emploi direct de la tourbe pour le chauffage des fours à puddler. Dans cette dernière usine, on consomme, par 1000 kilogrammes de fer puddlé, $4^{h},50$ de tourbe torréfiée.

CINQUIÈME SECTION

Fabrication des fers puddlés en Autriche, Italie et Espagne.

Empire d'Autriche. — D'après le catalogue officiel autrichien, l'empire a produit, en 1865, 174487264 kilogrammes

Digitized by Google

de fers de toute nature; l'importation étrangère s'est élevée à 5 188 650 kilogrammes sans compter les objets fabriqués, et l'exportation a atteint 6 788 100 kilogrammes.

Ce même catalogue, dans une statistique assez curieuse des industries autrichiennes, indique 46 usines à marteaux et laminoirs et 624 marteaux. Il ne nous est pas possible de séparer les tonnages des fers au combustible minéral de ceux au combustible végétal.

Les usines de Moravie et de Bohême étaient représentées par la *forge de Rossitz*, qui exposait de longues poutrelles à double T. L'*usine de Wittkowitz*, dont l'outillage est puissant et perfectionné, n'avait rien exposé, non plus que celles de *Hermannshütte*, *Stephenau*, *Josephshütte*, etc. Le combustible provient du bassin houiller d'Ostran.

Le groupe des usines de Hongrie et de Transylvanie était mieux représenté par la Société I. R. P. des chemins de fer de l'Etat. La *forge de Reschicza*, qui lui appartient, comprend 16 fours à puddler, 14 fours à réchauffer et tout le matériel nécessaire pour la fabrication des fers marchands, des tôles, des essieux et des bandages, avec les fontes au bois de Reschicza, Dognacska et Bogsan ; sa production annuelle peut atteindre 6 700 tonnes. La *forge de l'Anina*, à côté du charbonnage de Steierdorf, possède 24 fours à puddler, 10 fours à réchauffer et le matériel nécessaire pour une fabrication de 10 à 12 000 tonnes de rails : elle traite les fontes au coke fabriquées sur place. La *forge d'Haczasel* (comitat d'Hynyad) exposait aussi des fers et des tôles.

Le comte Hugo Henckel, de Donnersmark, qui possède des usines déjà citées dans la Silésie prussienne, et qui a aussi 3 hauts fourneaux au bois en Carinthie, vient de construire (en 1866) aux portes de Vienne une forge projetée pour la fabrication annuelle de 6 700 tonnes de rails et de 2 200 tonnes de petits fers. Mais ses établissements principaux sont en Styrie et en Carinthie. Dans ce dernier pays se trouve son *usine de puddlage de Frantschich* ou *Wolfsberg*, qui produit par an environ 2 000 tonnes de fers puddlés et 1 000 tonnes d'acier puddlé, et qui est la première à avoir

Digitized by Google

puddlé au bois dans le pays, et l'*aciérie de Kollnitz*, qui fournit 1500 tonnes d'essieux et de ressorts. Dans la haute Styrie, à Zeltweg, village voisin des villes de Knittelfeld et de Judenburg, est l'usine centrale dite *Hugohütte*, qui occupe un espace de 8 hectares, et a coûté d'établissement 4750000 francs. La station du chemin de fer la plus voisine est celle de Bruck-sur-Mur (53 kilomètres et 15 fr. 70 de frais par tonne), en attendant la construction d'une ligne qui passera à Zeltweg même. Hugohütte tire son combustible en partie des mines de lignite de Fohnsdorff, appartenant à l'Etat, en partie de celles de Sillweg, appartenant à l'usine ; elle en consomme 46480 tonnes par an. Elle traite annuellement environ 18000 tonnes de fontes (représentant une valeur de 2400000 francs), dont 6750 tonnes environ viennent des trois hauts fourneaux qu'elle possède en Carinthie, et le reste est acheté. La production annuelle de Hugohütte varie de 8400 à 11200 tonnes. Ses moyens de fabrication se composent de : 3 cubilots, 1 four à réverbère, 16 fours à puddler, 16 fours à réchauffer, 2 fours à recuire, 4 trains de laminoirs avec 14 paires de cylindres, 1 marteau pilon hydraulique, 1 martinet, 7 souffleries, 1 ventilateur, 2 cisailles à tôle, 8 marteaux pilons à vapeur, dont 1 de 10 tonnes, 21 feux de forge, 10 machines à vapeur d'une puissance totale de 400 chevaux, 128 machines-outils diverses. Hugohütte possède, en outre, une briqueterie réfractaire. Elle occupe 900 à 1100 ouvriers, avec 15 contremaîtres et 13 employés, et les frais de personnel annuels s'élèvent à 875000 francs. Elle fabrique non-seulement des fers marchands, des tôles, des plaques de blindages, des rails, des roues, des bandages, etc., mais encore tous les genres de machines ; voici ses chiffres moyens de fabrication annuelle :

1680	**tonnes**	**de plaques de blindages,**
5600	**—**	**de rails,**
1456	**—**	**de roues,**
1120	**—**	**de bandages,**

sans compter les fers et les tôles.

Digitized by Google

Les *usines à fer de Leoben* (Styrie), appartenant à M. Franz Mayr de Melnhof, sont les plus considérables de la Styrie. Elles comprennent divers établissements, dont les plus importants sont à Donawitz, aux portes de Leoben, savoir :

1° Les *puddlages de Franzenhütte* et *Theodorahütte* (12 puddlings chauffés avec les lignites noirs de Leoben, 2 fours à corroyer l'acier, 1 marteau pilon à vapeur, 2 marteaux à soulèvement, 2 trains puddleurs à moteur hydraulique et 1 grand marteau pilon en construction) ;

2° Le *laminoir de Carolihütte* (6 fours à souder, 1 four à recuire les tôles, 1 pilon de 10 tonnes, 1 grande presse hydraulique à forger, 1 marteau de soulèvement mû par roue hydraulique, 1 gros train marchand ou gros mill, 1 moyen mill, 2 petits mills, 1 train à tôles de chaudière, 8 cisailles à tôles et à barres, 2 scies);

3° L'*usine de cémentation*, avec 6 fours à cémenter ;

4° Les *ateliers divers* (fonderie, taillanderie, tréfilerie, serrurerie, chaudronnerie, etc.). La force motrice est fournie par le Vordernbergbach en trois chutes de $6^m,50$, $3^m,60$ et 8 mètres, et par 14 chaudières à vapeur (12 horizontales et 2 verticales), dont 5 chauffées au lignite et les autres chauffées par les chaleurs perdues des fours à puddler et à réchauffer. Pour actionner les marteaux et les trains, il y a 5 roues hydrauliques de 25 à 50 chevaux, 2 turbines de 80 chevaux et 5 machines à vapeur de 50, 60, 120 et 150 chevaux ; pour les ateliers, il y a une turbine de 6 chevaux et 5 machines de 10 à 25 chevaux ;

5° A Gemeingrube est le *laminoir à tôles* avec 4 fours de tôlerie et 2 trains à tôles fines mus par roues hydrauliques ;

6° Les *martinets de Goss*, *Waasen*, *Tœllerl et Saint-Peter*, près Leoben, *de Bruck et de Hœll*, près Bruck, comprennent 8 feux d'affinerie, 3 chaufferies, 4 fours à recuire et 15 martinets hydrauliques.

Ces établissements peuvent fournir annuellement 14 000 tonnes de fers et tôles, 1 700 tonnes d'acier cémenté et 1 100 tonnes d'acier naturel. Voici une liste qui fera connaître les principales branches de la fabrication, en même

Digitized by Google

temps que les prix de vente rapportés aux 100 kilogrammes à l'usine en 1867.

A. *Petits fers courants.*

Bandelettes, bandages.	34,00 à 37,00	francs.
Feuillards	31,50 à 50,00	—
Fers à pentures (puddlés)	40,00	—
— (au bois, battus) environ.	52,00	—
Cercles de tonneaux	40,00 à 43,00	—
Fers à vitrages, etc.	34,00 à 43,00	—
— ronds.	34,00 à 43,00	—
— machine pour tréfilerie.	34,00 à 45,00	—
— à verges.	47,20 à 53,40	—

B. *Fers plats de dimensions non courantes.*

13 à 158 de largeur sur 2 à 26 d'épaisseur.	37,00 à 55,50	francs.

C. *Gros fers pour machines.*

Fers laminés, carrés, ronds et plats. . . .	37,00 à 55,00	francs.
— forgés et soudés au charbon de bois.	42,50 à 85,00	—
— spéciaux.	37,00 à 67,50	—

D. *Tôles.*

Tôles de chaudières.	41,75 à 65,00	francs.
— noires	43,25 à 55,50	—

Les usines de Leoben ont beaucoup augmenté d'importance depuis 1857. A la fin de 1866, elles occupaient 1 003 ouvriers, dont 296 mariés et 707 célibataires; 902 ouvriers, dont 233 pères de famille, avec 444 enfants, étaient logés dans des habitations appartenant à la direction.

L'exposition de M. Franz Mayr était très-remarquable : on y trouvait tous les spécimens de fers marchands et spéciaux, de tôles unies et striées, etc.

La *forge de Donawitz*, près Leoben, appartient à M. de Fridau, dont nous avons cité les hauts fourneaux ; elle produit annuellement 2 240 tonnes de fers et aciers puddlés au lignite de Munzenberg.

Le comte de Franz de Meran possède une *usine de puddlage à Kœflach* et un *laminoir à tôles à Kremz*, où il emploie pour le puddlage et le réchauffage un mélange de moitié lignite cru à 25 ou 30 pour 100 d'eau et moitié lignite torréfié, tan-

Digitized by Google

dis que pour les autres opérations métallurgiques le lignite cru est consommé seul ; les fours présentent des dispositions particulières. En 1866, ces usines ont produit 2 000 tonnes de fers laminés, 200 tonnes de fers forgés, 1 200 tonnes de tôles diverses sans compter l'acier.

Les *forges de Murau*, au prince de Schwartzenberg, exposaient aussi des fers marchands et spéciaux.

L'*usine à fer de Prevali*, appartenant, ainsi que l'*usine à fonte de Lælling* (Carinthie), à la maison Eugène baron de Dickmann, emprunte son combustible à la mine de lignite voisine de Liescha. Celle-ci a commencé à être exploitée en 1819 ; de 1820 à 1830, on employa ses produits à l'extraction du zinc contenu dans les calamines de Bleiberg (haute Carinthie). Mais, dès cette époque, le besoin se faisait sentir de remplacer dans la métallurgie du fer le combustible végétal, jusqu'alors seul employé, par un combustible minéral ; c'est ce qui conduisit à l'idée d'employer pour cette industrie un lignite de formation récente. En 1834, on commença l'établissement d'une usine à fer ; mais ce n'est qu'en 1840 que, après beaucoup d'essais coûteux et d'insuccès peu encourageants, on réussit à travailler régulièrement au puddlage et au réchauffage, sous la direction de M. J. Schlegel. Lorsqu'on eut appris à brûler le lignite dans des chauffes à grilles horizontales et imaginé les tours de main nécessités par sa teneur en eau et la fusibilité des cendres, et lorsqu'on eut ainsi établi les conditions d'un travail régulier, l'usine de Prevali devint une école où beaucoup d'autres apprirent à leur tour à se servir du lignite. Sous l'influence des expériences faites en Allemagne et en France sur l'emploi des gaz comme combustible, on transforma à Prevali, dès 1846, certains fours à réverbère en fours à gaz, en adjoignant à la chauffe à grille ordinaire une disposition qui amenait du vent chaud pour la combustion au-dessus du pont de chauffe, et on obtint ainsi un double avantage au point de vue de la température, comme à celui de l'effet utile du combustible. Plus tard, on appliqua des grilles à échelons pour l'emploi des menus lignites.

Digitized by Google

D'après M. Bruno Kerl, on consomme à Prévali, dans les fours à puddler soufflés, 122 kilogrammes de lignite par 100 kilogrammes de fer brut, et dans les fours non soufflés 141 kilogrammes. Pour le réchauffage, on brûle 126 à 129 kilogrammes de lignite par 100 de fer brut. Le déchet est de 11 pour 100 environ sur la fonte au puddlage et de 25 à 30 pour 100 sur la fonte après le réchauffage.

L'usine comporte actuellement, dans 3 ateliers séparés, 24 fours à gaz, savoir : 12 fours doubles à puddler et 12 fours à réchauffer ; ces fours sont en partie isolés, en partie réunis sur une cheminée commune ; les chaleurs perdues servent à produire la vapeur qui actionne 2 pilons de 5 tonnes, 1 pilon de 2 tonnes et demie, 1 train à tôles de 55 centimètres, 3 trains puddleurs et 1 gros mill de 45 centimètres, 1 moyen mill de 32 centimètres et demi et 2 petits mills de 22 centimètres et demi, sans compter tous les appareils accessoires. Elle occupe 500 ouvriers.

A en juger par l'Exposition de 1867, le puddlage au gaz de ligneux ou bois torréfié, que M. Leplay décrivait en 1853 ainsi qu'il l'avait vu dans les usines de Neuberg (Styrie) et de Lippitzbach (Carinthie), ne paraît pas avoir pris le développement qu'on supposait. En 1829, on construisait à Lanau, près Murzstag, un laminoir où on essayait le puddlage et le réchauffage au moyen du bois artificiellement séché. En 1838, après la réussite de ces essais, on établissait dans l'usine impériale de Neuberg une grande usine de puddlage et de réchauffage, qui fonctionne encore après avoir été agrandie en 1866. Aujourd'hui cette usine comprend 4 fours à puddler doubles, 1 four à puddler simple, 2 fours à recuire pour tôle et acier, 5 fours à souder et 12 étuves pour la préparation du bois. La production annuelle en articles marchands de fer ou d'acier est de 4000 tonnes environ.

Nous n'avons pu voir aucune autre indication de puddlage au ligneux. Quant à celui au lignite, il était encore représenté par les *forges de Gradenberg*, près Kœflach, qui traitent des fontes obtenues elles-mêmes au lignite, et par d'autres

Digitized by Google

aussi. Mais l'introduction du procédé Bessemer dans ces contrées a apporté une concurrence grave aux produits des fours à puddler soit au bois desséché, soit au lignite, ainsi que nous le verrons plus tard.

Royaume d'Italie. — D'après M. Felipe Giordano, l'Italie comptait, en 1864, 30 fours à puddler, dont 15 en activité, et 30 trains de laminoirs; la production de fer ordinaire était de 34000 tonnes environ. Presque tous les fours à puddler sont chauffés avec des gaz des hauts fourneaux ou avec le gaz de tourbe.

Dans la *Lombardie*, on n'emploie, pour chauffer les fours à puddler, que des gaz produits spécialement dans des gazogènes alimentés au moyen de charbon de bois, de tourbe ou de lignite. En 1840, on a essayé dans l'usine de Dongo le puddlage avec les gaz d'un haut fourneau; mais ce système n'a pas rencontré beaucoup de succès. Quand le haut fourneau était en bonne marche, les gaz paraissaient ne pas avoir assez de chaleur pour le puddlage; et quand ils étaient abondants, la consommation de charbon dans le haut fourneau croissait de façon à faire perdre toute l'économie obtenue. Sans doute, avec les minerais spathiques grillés aisément réductibles employés à Dongo, les gaz du gueulard pouvaient être pauvres en oxyde de carbone, tandis qu'avec les minerais oxydulés riches du val d'Aoste la proportion de ce gaz réducteur doit être plus considérable. Les premiers gazogènes paraissent avoir été introduits en Lombardie vers 1850, par MM. Rubini et Scalini, propriétaires actuels des forges de Dongo; ils étaient alimentés au charbon de bois. Ces gazogènes ont ordinairement la forme d'un prisme carré de 1^{m},30 de côté et de 2^{m},50 à 3 mètres de hauteur, avec une petite grille en bas et un tuyau élevé en haut par où se charge le combustible. Ils sont alimentés d'air comprimé par le cendrier, qui est hermétiquement fermé. Le gaz redescend par un conduit vertical jusqu'au pont de chauffe, où il rencontre la tuyère qui amène l'air comprimé et chauffé qui doit le brûler. Au sortir du laboratoire, la flamme chauffe d'abord un appareil à air chaud, puis traverse une sole ré-

Digitized by Google

chauffeuse au sortir de laquelle les gaz complétement brûlés se dispersent dans l'atelier sans être appelés par une cheminée. Le vent est fourni par une machine soufflante ou un ventilateur. D'après l'ingénieur Curioni, il faut pour un four 18 mètres cubes d'air par minute mesurés à la pression atmosphérique, savoir 6 pour le gazogène et 12 pour la combustion des gaz. Tantôt le four sert pour le puddlage et tantôt il sert pour le réchauffage des massiaux puddlés. Les gazogènes sont alimentés soit avec du charbon de bois, soit avec de la tourbe, soit avec des escarbilles de houille.

Plusieurs forges lombardes étaient représentées à l'Exposition de 1867.

La *forge de Premadio* (MM. Corneliani et C°), dans la Valtellina, possède un four à puddler au gaz de charbon de bois et effectue le réchauffage des massiaux dans un bas foyer; par ce système elle consomme 2 403 kilogrammes de charbon par tonne de fer étiré. Sa production annuelle est de 1 000 tonnes.

La *forge de Dongo* (MM. Rubini et Scalini), sur le lac de Côme, contient 3 fours à puddler au gaz de charbon, bois ou tourbe, 6 fours à réchauffer au gaz ou à la flamme perdue, 4 gazogènes, etc. Le premier réchauffage des massiaux se fait au four à gaz, le second, pour le finissage, sur la sole chauffée par les flammes perdues; on y consomme seulement 1 422 kilogrammes de charbon par tonne de fer fini. MM. Rubini et Scalini possèdent des laminoirs et exposaient des fers marchands de diverses formes; leur production annuelle est d'environ 2 000 tonnes.

Les *forges de Lecco et Bellano* (MM. Badoni et C°) n'avaient pas exposé. On y puddle dans 4 ou 5 fours chauffés au gaz de tourbe, de bois, de lignite et même d'anthracite menue; la consommation de ces combustibles est de 4 500 kilogrammes par 1 000 de fer étiré, et on y finit le fer avec un seul réchauffage.

La *forge de Lovere* (M. Gregorini), dans la province de Bergame, est une des plus importantes et des plus avancées de la Lombardie. Sans parler de ses feux d'affinerie, elle

Digitized by Google

effectue le puddlage pour fer et pour acier dans des fours chauffés au gaz par le système Siemens. Les gazogènes sont alimentés soit par la tourbe d'Iseo, soit par des lignites. Nous donnons à la planche XX le dessin complet des fours à puddler de M. Gregorini; nous regrettons de ne pouvoir indiquer les consommations de fonte et de combustible par tonne de fer puddlé. Il exposait en 1867 des fers laminés divers.

Dans le *val d'Aoste*, on emploie pour le puddlage non-seulement des gaz de générateurs, mais aussi les gaz des hauts fourneaux, qui sont plus riches en oxyde de carbone que ceux des fourneaux de Lombardie. D'après M. Giordano, en Lombardie (à Dongo, par exemple), on consomme 1 000 à 1 120 kilogrammes de charbon de bois par tonne de fonte; dans le val d'Aoste (à Pont-Saint-Martin), la consommation atteint et dépasse 1 400 kilogrammes de charbon par tonne de fonte, avec une richesse de minerai assez semblable.

A Pont-Saint-Martin se trouvent deux forges, l'*usine Mongenet* et l'*usine Cavallo*, qui puddlent ainsi avec les gaz des hauts fourneaux. Dans la première on travaille à la fois dans deux fours qui reçoivent chacun une charge de 175 kilogrammes; l'opération dure deux heures et demie. Quand le fourneau ne fonctionne pas, on puddle au gaz de tourbe en se servant de générateurs à flamme renversée semblables à ceux d'Undervelier et de Vallorbe.

Les *forges d'Emavilla et Villanova*, appartenant à Mme Gervasone, exposaient un massiau de fer puddlé aux gaz du haut fourneau, ainsi que des barres et des fers machine en provenant.

D'après M. Giordano, il y aurait par 1 000 kilogrammes de massiaux puddlés une différence de 30 à 50 francs à l'avantage des gaz de haut fourneau sur les gaz de tourbe.

D'après le catalogue, il y aurait à Pignerol une forge (*M. Silombra*) qui avait exposé des fers fabriqués dans des fours soufflés avec un combustible composé de tourbe et de pétrole; mais nous n'avons pu découvrir ces spécimens.

En *Toscane*, il faut signaler d'abord la *forge de Follonica*, où

Digitized by Google

M. Ponsard introduisit en 1860 le puddlage avec fours chauffés directement au lignite sans gazogène. On y brûle par tonne de massiaux puddlés 1 100 à 1 200 kilogrammes de lignite de Monte Bamboli.

A la *forge du Col du val d'Else*, la Société Masson puddle avec un gaz formé dans un générateur alimenté de brindilles de bouleau, d'épis de maïs et de noyaux d'olives, qu'elle appelle *gaz végétal*, et elle réchauffe les massiaux dans un four chauffé au gaz de lignite; les fontes qu'elle traite viennent de Follonica et d'Angleterre. Elle fabrique divers produits tels que fil de fer, pointes, vis, etc., qu'elle exposait en 1867.

Nous ne croyons pas qu'il existe dans le sud de l'Italie d'usine qui fabrique régulièrement des fers puddlés, bien que des tentatives aient été faites, à Pietrarsa, près Naples, par exemple.

A *Savone* existe une forge, appartenant à MM. Tardy et Benech, qui fabrique des fers puddlés avec des fontes et des houilles venant de l'étranger. Sa production annuelle est de 500 tonnes de fer.

Espagne. — Les données statistiques fournies par le catalogue de la section espagnole sont trop incomplètes pour que nous puissions indiquer le nombre des fours à puddler qui existent dans les usines à fer de la Péninsule, ni même le nombre des usines qui travaillent à la houille.

Dans les provinces de *Biscaye*, nous pouvons citer :

L'*usine de Santa Ana de Bolueta*, fondée en 1840, à 2 kilomètres de Bilbao et sur la rivière; cette usine fabrique du fer par la méthode directe, mais en outre elle possède 6 ou 7 fours à puddler ordinaires, où elle traite les fontes de ses 3 hauts fourneaux;

Les *usines de MM. Ibarra et C*e à Baracaldo, près Bilbao, où se trouvent 10 fours à puddler et des laminoirs assez puissants pour fabriquer des poutrelles de 12 centimètres qui étaient exposées;

L'*usine de Santa Agueda*, à Castrejana, possédant 5 fours à puddler.

Digitized by Google

Dans les *Asturies* on rencontre :

L'*usine de Miérès del Camino*, appartenant à la Société asturienne ; son matériel est considérable (14 puddlings avec chaudières à vapeur, 2 marteaux pilons, 4 fours à réchauffer, 1 machine à balancier de 50 à 60 chevaux commandant un train de puddlage, 1 gros mill, 1 moyen mill, 1 fenderie, 1 espatard, 1 machine horizontale conduisant un train à tôles et 1 petit mill double, etc.), mais nous ignorons si elle fonctionne actuellement. Elle n'était représentée à l'Exposition que par quelques morceaux de fer insignifiants ;

L'*usine royale de la Trubia ;*

L'*usine de la Felguera*, près Langreo, appartenant à la Société Duro et Cᵉ, qui avait exposé une collection complète de ses produits. Cette usine comprend, sans parler des accessoires, ateliers de constuction, etc. : 1° un atelier de puddlage avec 16 fours à puddler chauffant deux à deux une chaudière à vapeur, 2 marteaux pilons de 2 500 kilogrammes, 2 trains de puddlage et 1 cisaille ; 2° un atelier de réchauffage avec 6 fours à réchauffer ayant chacun une chaudière à sa suite, 4 trains de laminoirs, 4 cisailles. La production de fer a été annuellement, en 1864 et 1865, de 7 000 tonnes environ. En 1864, chaque four à puddler a fourni par jour 2 567 kilogrammes de fer brut provenant de 15, 24 charges en vingt-quatre heures. Les ateliers de puddlage et laminage occupent 350 ouvriers environ.

La Felguera exposait des échantillons de fers bruts à grain et à nerf, des scories de puddlage crues et liquatées, ou bulldogs, des épreuves de fers, une série de fers laminés gros, moyens et petits, une poutrelle de 10 centimètres, longue de 8ᵐ,25, une cornière longue de 12ᵐ,50, un rail Vignole de 6ᵐ,70, des feuillards divers, dont un de 2 millimètres sur 182 millimètres. Ces produits montrent que l'usine de MM. Duro et Cᵉ compte parmi les premières d'Espagne.

Dans la province de *Tolède*, les *forges de San José* exposaient des fers puddlés au bois vert et étirés au marteau.

Dans le sud de l'Espagne, on trouve l'*usine du Pedroso* (Séville), celles de *MM. Heredia* (Malaga).

Digitized by Google

En Catalogne, MM. Girona frères fabriquent du fer à la houille à l'*usine de Saint-Martin*, aux portes de Barcelone.

SIXIÈME SECTION

Fabrication des fers puddlés en Suède, Russie et Amérique.

Suède. — Nous avons étudié déjà la fabrication des fers affinés dans ce pays; mais nous devons ajouter que le puddlage est employé dans plusieurs usines.

A *Motala* et à *Nykœping* on puddle avec de la houille venant d'Angleterre. Ces deux usines fabriquent des fers marchands laminés, profilés (cornières, poutrelles, etc.), des tôles, des bandages, etc.

Le puddlage au moyen du bois séché à l'air, brûlé sur grille, a été introduit en 1835 dans l'*usine de Nyby*, près Thorshælla. Actuellement, il est encore employé par M. C. Zethelius dans cette forge pour 400 tonnes annuelles de tôles et fers profilés, et par M. W. Zethelius dans l'*usine de Surahammar*, près Westeraes, pour 1 500 tonnes de tôles, fers profilés, bandages, etc.

A Finspong et à Lesjœfors on a quelquefois puddlé au gaz de bois afin de satisfaire aux demandes de certains consommateurs.

Tous ces fers puddlés sont employés en Suède même pour la construction, et ne servent ni à la cémentation, ni à la tréfilerie.

Le puddlage à la houille pratiqué à Motala (9 fours simples) et à Nykœping (2 fours simples) ne présente rien de bien particulier. On fait en douze heures quatre à six charges de 275 à 280 kilogrammes de fonte truitée, qui font un déchet de 7 à 9 pour 100; la consommation de houille est de 700 à 750 kilogrammes par tonne de fer puddlé. On traite surtout des fontes truitées fabriquées avec les minerais de Grængesberg et de Norberg. A Motala on cingle avec un moulin à loupes à axe vertical.

A Surahammar (2 fours) et à Nyby (1 four) on emploie

Digitized by Google

des fours doubles formés de deux fours simples accolés dans leur longueur et ayant deux portes de travail opposées. Chaque charge, d'après M. Mosler, est de 485 kilogrammes et on en fait en vingt-quatre heures douze à quatorze avec une consommation de 62 à 75 hectolitres de bois sec par 1000 kilogrammes de fer puddlé et un déchet de 6 à 7 pour 100. A Surahammar le bois de sapin séché à l'air est en petites bûchettes de 20 à 26 centimètres de longueur : on l'introduit par deux petites ouverture de 15 centimètres de hauteur sur 10 de largeur opposées au pont de chauffe et voisines de la voûte de la chauffe, qui est assez élevée ; ces ouvertures sont fermées par des portes à charnière horizontale. La grille est plane, avec des barreaux de 25 millimètres de largeur espacés de 40 à 45 millimètres. Les loupes sont cinglées au marteau pilon, réchauffées dans un four Ekman (à Surahammar) et étirées en barres puddlées de 16 centimètres de largeur et 2 et demi d'épaisseur. On n'emploie ce puddlage au bois que là où on ne peut employer la houille ; le travail avec celle-ci est plus aisé et plus sûr. Le nombre des fours à puddler est du reste tout à fait limité.

Russie. — L'empire de Russie comprend dans les provinces de Pologne voisines de la Silésie deux ou trois usines, par exemple, celle de *Hutta Bankowa*, à la Couronne, où l'on puddle avec de la houille provenant des bassins autrichiens ; *Irena* (Lublin) et *Ostrowice* (Radom), à MM. Lubienski, Frenckel et Cᵉ ; et celle de *Ruda Maleniecka* (Radom), qui appartient à MM. Bochenski et Wieloglowski.

Dans les autres parties de l'empire, on emploie pour le chauffage des fours à puddler soit directement le bois séché, soit le gaz de bois ou de tourbe.

Le groupe de l'Oural comprend comme usine principale les *forges de Nijni-Taguil*, qui, outre les 7 hauts fourneaux qui en dépendent, possèdent 38 feux comtois, 37 fours à puddler et 32 fours à souder, et fabriquent annuellement 16000 tonnes de fer environ. Ces forges exposaient des fers laminés cotés 45 à 90 francs les 100 kilogrammes, des tôles,

Digitized by Google

des rails, des épreuves qui témoignaient d'une excellente qualité et qui provenaient de fers puddlés au bois et réchauffés au four à gaz système Ekman.

Les *usines d'Alapaev* (Perm) puddlent aussi au bois.

Celles d'*Alexandrovsk* (Perm) exposaient des tôles travaillées à la houille et provenant de fonte au coke (1); elles déclaraient fabriquer 4 500 tonnes par an.

Dans le gouvernement d'Orenbourg, l'*usine d'Avzianopetrovsk* a produit, en 1864, 3 200 tonnes de fer affiné et puddlé.

Dans le gouvernement de Viatka les *forges de Votkinsk*, appartenant à la Couronne, fournissent presque exclusivement aux besoins de la marine et de la guerre ; leur fabrication annuelle de 6 000 tonnes environ comprend des fers puddlés, des aciers puddlés, fondus et Bessemer, etc.

Le groupe du centre et de Moscou renferme quelques usines importantes. Les principales sont : les *forges de MM. Schipoff* à Ilev (Nijni-Novgorod) et à Vozniesjensk (Tambof), qui exposaient des fers bruts (cotés 30 francs les 100 kilogrammes) et des fers marchands (cotés 41 francs les 100 kilogrammes; les *forges de Gous*, dans les gouvernements de Wladimir et Riazan ; celles de *M. Schepilof*, dans le gouvernement de Nijni-Novgorod.

Dans ces usines on puddle au bois et à la tourbe et on réchauffe au four à gaz.

Le groupe du Nord était représenté à l'Exposition par la grande *usine de Waertsilæ* (Finlande), appartenant à M. Arppe. Cette usine, située dans la paroisse de Tohmajarvi, gouvernement de Kuopio, compte 1 haut fourneau, 8 fours à puddler, 6 fours à réchauffer, 1 four à tôles, 4 trains de laminoirs, 3 marteaux pilons et des moteurs représentant près de 1 200 chevaux. Elle puddle au bois les fontes de Waertsilæ même et de Mochkœ, et réchauffe également au bois séché dans des étuves les fers bruts destinés à être corroyés. Elle fabrique annuellement 2 500 tonnes environ de fer, qu'elle cotait 38 à 50 francs les 100 kilogrammes.

(1) Nous ignorons d'où provient la houille employée.

Digitized by Google

De tous ces fers, ceux qui proviennent des fontes de l'Oural sont de beaucoup les meilleurs.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE. — En 1856, d'après M. Lesley, les États-Unis comptaient 225 usines à fer possédant des laminoirs, dont 209 en activité, ayant produit 500 000 tonnes de fer et comprenant 208 fours à puddler doubles et 1 054 fours à puddler simples; en outre, il existait 34 fours à puddler dans les forges à marteaux. Les États-Unis consommaient, en 1856, 305 000 tonnes de fers laminés de plus que leur production. Nous ne possédons pas les données correspondantes pour 1865; mais nous savons que le nombre des usines a considérablement augmenté, comme on en jugera par les progrès faits dans un seul État, la Pensylvanie.

En 1856, la Pensylvanie possédait 73 usines à fers laminés d'une puissance de production de 445 000 tonnes. En 1865, le nombre des usines s'était élevé à 105 et leur puissance de production à 730 000 tonnes. Les chiffres suivants, relatifs à 1864, étaient exposés par la Pensylvanie.

Usines en totalité	104
— en activité	94
Fours à puddler doubles	135
— — simples	703
— à réchauffer	470
Trains de laminoirs	299
Machines	311
Usines mues par la vapeur	76
— par l'eau	15
— par l'eau et la vapeur	4
Roues hydrauliques	35
Usines à rails	11
— exclusivement	7
— à fers marchands	60
— — exclusivement	19
— à tôles grosses	25
— — exclusivement	14
— à tôles minces	20
— — exclusivement	5
— à clous et à pointes	17
— — exclusivement	1

Digitized by Google

Production totale de fers laminés (dont 160 087 tonnes de rails)	414 932 tonnes.
Consommation totale de matière brutes .	502 721 —
Dont : fonte	399 135 —
riblons et massiaux.	103 586 —
Consommation totale de houille.	967 390 —

On a donc consommé en 1864, par tonne de fers finis, 2330 kilogrammes de houille et anthracite et 1 211 de fonte, riblons et massiaux.

Nous citerons quelques-unes des usines les plus importantes en suivant le même ordre que dans notre étude des usines à fonte.

La Pensylvanie renferme les forges les plus considérables. L'usine de *Cambria*, près Johnstown, possède 30 fours à puddler doubles, 22 fours à réchauffer et 6 trains de laminoirs ; elle a fabriqué en 1864 plus de 40 000 tonnes de rails, et puddle à la houille les fontes au coke fabriquées avec les minerais houillers.

L'*usine de Lackawanna*, à Scranton (76 fours à puddler simples, 15 fours à réchauffer, 6 trains), fabrique annuellement plus de 25 000 tonnes de rails en puddlant à l'anthracite des fontes fabriquées avec les minerais magnétiques de New-Jersey.

L'*usine du Phénix*, à Phénixville (16 fours à puddler doubles, 11 fours à puddler simples, 24 fours à réchauffer, 8 trains), puddle aussi à l'anthracite.

Dans tous les fours à puddler ou à réchauffer alimentés à l'anthracite, on emploie ce combustible sous forme de roches et avec l'aide de l'air forcé.

Le Massachusetts est aussi un État sidérurgiste. On peut y citer l'usine de *Bay-State*, à Boston, avec 16 fours à puddler doubles, 12 fours à réchauffer et 4 trains.

Dans l'Ohio, les usines de *Cleveland* travaillent surtout à fabriquer des rails neufs avec des vieux.

Dans l'Illinois, la belle *forge de Chicago*, à M. Ward, a une industrie analogue; toutefois elle puddle aussi à la houille des fontes neuves.

Digitized by Google

A Détroit (Michigan), se trouve l'*usine de Wyandotte*, qui traite les fontes provenant des magnifiques hématites rouges du pays, et qui était la seule exposant en 1867 un rail laminé.

Les usines américaines n'étaient du reste guère représentées en ce qui concerne la fabrication du fer. L'usine de Wyandotte et deux usines de l'Alabama étaient les seules qui eussent envoyé des fers laminés américains.

Les autres contrées du nouveau continent sont trop pauvres en usines sidérurgiques pour que nous ayons rien à ajouter à ce que nous avons dit dans la première partie de ce travail.

SEPTIÈME SECTION

Du chauffage des fours à puddler.

Préliminaires. — Pendant le cours de la revue que nous venons de faire de la fabrication des fers puddlés dans les diverses contrées métallurgiques, nous avons rencontré un grand nombre de systèmes différents pour le chauffage des fours à puddler. Ces systèmes sont les suivants :

Chauffage à la houille sur grille ordinaire ;
Chauffage au lignite ;
Chauffage à la tourbe ;
Chauffage à l'anthracite ;
Chauffage au bois séché à l'air ;
Chauffage au gaz de bois torréfié ;
Chauffage au gaz de lignite ;
Chauffage au gaz de tourbe ;
Chauffage au gaz de hauts fourneaux ;
Chauffage système Siemens, au gaz de houille menue ;
Chauffage système Siemens, au gaz de lignite.

Outre ces systèmes, déjà nombreux, il en existe encore d'autres qui ont été l'objet d'essais plus ou moins prolongés et plus ou moins heureux ; nous citerons les systèmes Wilson et Boetius.

Le four à puddler primitif, inventé et employé en Angleterre, était chauffé par un foyer à grille plane ordinaire, dans

Digitized by Google

lequel on brûlait de la houille à longue flamme. Parmi les modifications qui ont été apportées à cette chauffe primitive, les unes ont eu pour but de permettre l'emploi de combustibles autres que la houille, les autres avaient pour objectif de réaliser une économie dans la consommation de cette houille ou du combustible. Comme la chauffe est distincte du laboratoire, ou sole, où s'effectuent l'affinage de la fonte et sa transformation en fer brut, on est assez disposé à croire que, sitôt que le système de chauffage permet d'élever et de maintenir le laboratoire à la température nécessaire pour le puddlage, il devient assez indifférent pour l'opération en elle-même, qui s'effectue toujours identiquement, quel que soit le combustible. Mais, suivant nous, on est complétement dans l'erreur, parce qu'on se fait une idée inexacte de la théorie du puddlage. Il n'entre pas dans notre programme actuel de développer cette théorie comme nous la comprenons ; mais nous ne pouvons nous dispenser de dire que nous ne sommes point d'accord avec les auteurs qui, comme MM. Crace Calvert, Johnson, Lan, Percy, Siemens, ne voient dans l'affinage de la fonte au four à puddler que l'action plus ou moins ménagée de l'air qui traverse le four et surtout des scories qui forment partie du bain. Les travaux de M. Henri Sainte-Claire Deville sur la nature des flammes et sur la dissociation ne nous permettent pas de ne point tenir compte de l'action de l'oxyde de carbone et même du carbone dissocié qui se trouve en suspension dans la flamme du four ; nous croyons avec divers praticiens, notamment avec M. Urbin, que la flamme peut exercer dans certains moments une action soit réductive sur la scorie, soit carburante sur le fer, comme le prouve la liquéfaction à nouveau d'une charge à moitié puddlée dans une atmosphère de four fumeuse. Les systèmes de chauffage agissent donc aussi, suivant nous, différemment par suite de la nature différente des flammes, de la proportion variable du carbone dissocié qu'elles tiennent en suspension, et pas seulement par suite de la différence des températures fournies. Un système parfait serait celui qui donnerait aisément la

Digitized by Google

haute température nécessaire, en même temps qu'il permettrait d'avoir à volonté une flamme oxydante, neutre, réductrice ou carburante.

Chauffage a la houille. — La houille est le combustible le plus commode et le plus employé pour les fours à puddler. Celle qui convient le mieux est la houille grasse, ou au moins demi-grasse, donnant une longue flamme et collant modérément. On la brûle sur des grilles planes à barreaux carrés en fer, dont la surface varie avec le poids de la charge de fonte et avec la rapidité que l'on veut pouvoir obtenir dans le travail. Les barreaux sont d'autant plus rapprochés que la houille est plus menue et moins collante; pour brûler des houilles un peu maigres et fines, il faut une grande chauffe et des barreaux assez rapprochés. Quand elles sont trop maigres, elles ne peuvent plus être employées sans un artifice qui consiste à fermer le cendrier avec des portes et à envoyer sous la grille de l'air un peu comprimé à l'aide d'un ventilateur; on arrive ainsi à obtenir une flamme convenable : c'est ce qu'on a fait au Creusot et dans diverses usines françaises. Mais, pour les puddlages soignés destinés à fournir du fer à fin grain ou de l'acier, il faut rechercher une houille grasse, donnant une flamme suffisamment longue et carburée.

Comme l'air arrive plus aisément à l'arrière de la grille qu'à l'avant, on a trouvé utile, dans certaines usines, de donner une faible inclinaison d'avant en arrière aux barreaux.

Avec des houilles maigres tout à fait menues, on a employé avantageusement, en Silésie, des foyers avec grille à échelons, où l'on brûle environ 2 hectolitres de combustible par 100 kilogrammes de fer brut à fin grain.

Nous avons vu qu'avec les grilles ordinaires, non soufflées, la consommation du combustible par 100 kilogrammes de fer brut varie, suivant la qualité de la houille et la nature du travail, depuis 80 jusqu'à 150 kilogrammes.

Il faut éviter d'employer des houilles sulfureuses, parce que l'acide sulfureux, qui se dissocie probablement dans la

Digitized by Google

flamme, exerce une influence fâcheuse pour la qualité du fer obtenu.

Les fours à réchauffer exigent des houilles de meilleure qualité et à plus longue flamme que les fours à puddler, parce que la température doit être plus longtemps et plus régulièrement maintenue, et parce que la flamme ne doit jamais être oxydante, afin de ne pas brûler les paquets en faisant du déchet.

Chauffage au lignite. — Ce système est surtout employé en Styrie et en Carinthie, où il paraît avoir complétement remplacé le chauffage au gaz de ligneux, étudié autrefois par M. Leplay. Les dispositions des foyers varient avec la nature et avec l'état physique du lignite employé.

A Neuberg, avec des lignites noirs brillants, en morceaux, on emploie des grilles planes alimentées par une toquerie percée dans la paroi du four. A Prévali, on fait de même et on consomme 141 kilogrammes de lignite par 100 kilogrammes de fer brut obtenu. A Léoben, dans les usines Mayr, on fait en douze heures dix ou onze charges de 300 kilogrammes (250 kilogrammes pour les fers supérieurs), et on brûle environ 150 kilogrammes par 100 kilogrammes de fer brut.

Quand on veut brûler des lignites menus, on emploie des grilles à échelons comme à Prévali et à Léoben.

Pour les fours à réchauffer alimentés au lignite dans ces usines autrichiennes, on place au-dessus du pont de chauffe une série de tuyères obliques qui amènent de l'air chaud.

Voici, d'après M. Habets, qui a visité récemment ces contrées, des données intéressantes sur le roulement de la forge de Gradenberg, qui puddle et réchauffe avec des lignites simplement desséchés.

Puddlage.

Fonte consommée.	478 520 kil.
Fer brut produit	454 542 —
Déchet.	5,2 %

Digitized by Google

Nombre de postes de douze heures.	161
Consommation de lignite	908 992 kil.
Lignite par 100 kil. de fer brut. . .	200 —

Réchauffage et laminage.

Fer brut enfourné.	474 543 kil.
Fer marchand produit.	364 027 —
Tôles.	12 055 —
Rebuts.	2 753 —
Chutes et rognures	14 650 —
Paquets brûlés	9 553 —
Production totale de fer.	403 038 —
Déchet.	17,7 °/o
Nombre de postes de douze heures.	108,5
Consommation de lignite	568 176 kil.
Lignite par 100 kil. de fer fini . . .	141 —

On consomme à Gradenberg 128 kilogrammes de fonte et environ 450 de lignite par 100 kilogrammes de fer fini, y compris la consommation des chaudières.

Chauffage a la tourbe. — La tourbe a été employée directement pour le chauffage des fours à puddler en Bavière et en Wurtemberg surtout. A Maximilianshütte, en Bavière, on alimente par le haut, avec de la tourbe préalablement séchée, une chauffe à grille plane; la flamme et les gaz produits par la distillation de cette tourbe rencontrent au-dessus du pont de chauffe une lame de vent chaud dirigée obliquement de bas en haut, de façon à ce qu'elle ne puisse atteindre les boules formées sur la sole. On y brûle 9 hectolitres de tourbe séchée par 100 kilogrammes de fer puddlé.

Chauffage a l'anthracite. — Ce combustible n'est employé maintenant, croyons-nous, qu'aux Etats-Unis en Pensylvanie, dans des chauffes soufflées dont nous ignorons la disposition.

Chauffage au bois séché a l'air. — On emploie le bois directement pour chauffer les fours à puddler en Suède et en Russie. Nous avons indiqué plus haut quelques chiffres relatifs au roulement de deux usines suédoises.

Chauffage au gaz de bois torréfié. — Nous avons dit que

Digitized by Google

le puddlage au gaz de lignéux avait à peu près disparu des usines carinthiennes ; nous renverrons donc à l'ouvrage de M. Leplay pour ce qui concerne ces usines, et nous ne parlerons ici que du puddlage au gaz de bois tel qu'il est pratiqué dans deux usines françaises, celles d'Allevard (Isère) et de Villotte (Côte-d'Or), dont les produits figuraient à l'Exposition.

L'*usine d'Allevard*, appartenant à MM. Charrière et C°, avait exposé d'intéressants modèles en relief de son four à puddler au gaz, ainsi que de ses dépendances. Nous donnons à la planche XXIX, fig. 1 et 2, une coupe verticale et un plan qui permettront de comprendre aisément la construction du four.

Le gazogène accolé au laboratoire du four a une forme prismatique dans sa partie inférieure, qui se termine au niveau de la voûte du four, et il s'évase au-dessus de bas en haut. On l'alimente au moyen d'une trémie à double fermeture placée à la partie supérieure. Il se termine en bas par une grille plane à peu près carrée, au-dessous de laquelle arrive du vent froid pris sur la machine soufflante et qui s'étale en une nappe mince et horizontale en sortant d'une tuyère qui a la même largeur que la grille.

Le combustible employé est du bois d'essences variées (hêtre, châtaignier, bouleau, etc.), scié en bouts de 66 centimètres de longueur au plus, et refendu suivant la grosseur des bûches ; on le dessèche en le chargeant sur des wagons en fer qu'on fait séjourner un temps plus ou moins long dans des étuves ou chambres en briques chauffées par les tuyaux d'échappement des flammes des puddlings. Quelquefois on dessèche simplement à l'air libre en le plaçant au-dessus des fours. L'usine comprend un assez grand nombre (vingt-quatre au moins) de ces étuves, où le bois reste de vingt à trente heures. Il est ensuite élevé par un petit monte-charge au niveau de l'ouverture supérieure de la trémie du gazogène, où on le charge debout.

Le gazogène est en communication immédiate avec le laboratoire du four ; l'intermédiaire de chambres de dépôts

Digitized by Google

pour les cendres est supprimé. Le four travaille pour ainsi dire à la façon d'un véritable chalumeau par insufflation de la flamme du bois, dont la chaleur propre est utilisée. A l'entrée du laboratoire, cette flamme rencontre une lame de vent chaud inclinée à 45 degrés environ ; au milieu de la voûte à peu près se trouve une deuxième tuyère qui envoie une seconde lame de vent chaud. Le point de départ de cet appareil (qui fonctionne depuis 1858) a été le four carinthien décrit par M. Leplay, mais il a subi successivement des modifications considérables, ainsi qu'on le voit.

La surface de la sole est répartie, non en largeur, comme en Carinthie, mais en longueur, et les deux portes de travail sont disposées sur cette longueur au lieu d'être juste vis-à-vis l'une de l'autre. De cette façon le travail simultané de deux puddleurs est facilité, chacun ayant un champ d'action indépendant et analogue à une sole de puddlage ordinaire.

Par cette disposition de la sole en longueur, l'utilisation de la flamme du bois, *très-longue* elle-même, est meilleure. Cette particularité de grande étendue de la flamme a même indiqué la convenance de la seconde tuyère d'aval produisant une seconde insufflation des gaz. La modification est récente : elle a amené, nous dit-on, les meilleurs effets pour l'égalité et l'intensité du chauffage.

Les gaz brûlés à leur sortie du laboratoire passent par le rampant dans un appareil à chauffer le vent. Une cloison verticale en briques réfractaires, à la base de laquelle se trouve une ouverture qu'on peut murailler plus ou moins, à volonté, oblige une partie de la flamme à remonter pour envelopper les tuyaux en fonte de l'appareil ; elle redescend de l'autre côté de la cloison pour se rendre à la cheminée par le canal des étuves de dessiccation. On règle la plus ou moins haute température du vent en muraillant plus ou moins la cloison.

Le mode de garniture et de refroidissement des parois du laboratoire est spécial au four d'Allevard, où il a fait l'objet d'études et d'essais prolongés. La sole est formée par cinq plaques transversales. Les parois sont constituées par des

Digitized by Google

parements épais en fonte rafraîchis à leur base par l'air extérieur qui circule autour, et vers leur sommet par la circulation de l'eau dans un tuyau en fer noyé dans la fonte. Ce mode mixte apporte à chaque partie de la paroi le refroidissement qui lui convient, modéré vers le fond du bain, énergique vers la surface, où tend à se produire le maximum de corrosion. Au-dessus des parois à eau, on habille intérieurement les briques jusqu'à la naissance de la voûte, au moyen des fonds de feu arrachés des fours à corroyer ; ces fonds ne sont qu'une sorte de fer aigre, juste assez forgeable pour prendre en trois ou quatre coups de pilon la forme de grosses briques plates; placées de champ autour du four, ces garnitures donnent un excellent effet.

La charge est de 500 kilogrammes de fonte. L'opération dure de deux heures à deux heures et quart, et la consommation est d'environ 5 mètres cubes de bois par tonne de produit. Le déchet est évidemment variable suivant qu'on travaille en fer doux, en fer à grain ou en acier.

Deux ouvriers occupent chacune des deux portes ; l'une des escouades a la direction du vent, dont les diverses clefs sont toutes du même côté du four. On peut mettre à volonté aux deux tuyères d'insufflation des gaz, soit du vent chaud, soit du vent froid, soit un mélange des deux. L'affinage se fait ainsi avec la ressource, non-seulement de rendre les gaz du four plus ou moins oxydants selon la dose de vent qu'on leur donne, mais aussi de souffler au vent chaud ou froid à volonté, ce qui est loin d'être indifférent dans certains cas. Ce serait une erreur de chercher à puddler sans cesse avec le vent le plus chaud possible.

Les fontes qu'on emploie à Allevard sont celles des hauts fourneaux d'Allevard et de Pinsot, et aussi les fontes des Pyrénées-Orientales ou de Saint-Louis près Marseille. On ne fait pendant le puddlage aucune addition autre que celle de scories. Les produits les plus ordinaires sont l'acier dur, l'acier doux et le fer à grain ; autrefois on faisait beaucoup de fer nerveux pour les plaques de blindage, fabrication qui a été abandonnée à Allevard.

Digitized by Google

A l'*usine de Villotte*, MM. Cailletet et Cᵉ emploient une disposition de four à puddler un peu différente. Le gazogène a la forme d'un prisme à base rectangulaire un peu rétréci vers la partie inférieure. En en sortant, les gaz descendent en suivant un conduit vertical et arrivent par le bas dans une chambre de dépôt pour les poussières qui communique par le haut avec le laboratoire du four au moyen d'un rampant un peu incliné où se trouve la tuyère d'insufflation. Le four à puddler a des dimensions assez ordinaires; il est à deux soles et les flammes perdues, après avoir enveloppé les tuyaux de l'appareil à air chaud, passent dans de gros tuyaux qui échauffent les étuves à ligneux. La charge n'est que de 175 kilogrammes; l'opération dure une heure vingt-cinq minutes, et on brûle, d'après M. Cailletet, 2ˢᵗ,55 de bois, par 1 000 kilogrammes de massiaux obtenus, le bois étant pour moitié du chêne, pour un tiers du hêtre, pour un sixième du tilleul, et pour le reste des essences diverses. Le fer obtenu est un fer à nerf compacte avec lequel on fabrique surtout des outils d'agriculture et des tôles.

On voit qu'à Villotte le puddlage est notablement plus rapide (une heure vingt-cinq minutes au lieu de deux heures et quart) et plus économique (2ˢᵗ,55 au lieu de 5 stères) qu'à Allevard. A Villotte, le stère de ligneux pèse 278 kilogrammes, de sorte qu'en poids la consommation est de 708 kilogrammes de ligneux par tonne de fer brut obtenu. En Carinthie, d'après M. Leplay, la consommation est de 1 011 kilogrammes de ligneux par tonne de fer brut. Le four de Villotte donne donc des résultats plus économiques que ceux d'Allevard et de Carinthie : la nature des fontes employées (blanches, truitées et grises peu carburées) explique en partie ce fait.

Chauffage au gaz de lignite ou de tourbe. — Dans quelques usines de Styrie et de Carinthie, les fours à puddler au lignite sont devenus de véritables fours à gaz. A Prévali, on consomme par ce moyen 122 kilogrammes de lignite par 100 kilogrammes de fer puddlé, et à Krems 116 kilogrammes.

A Piechling, d'après M. Habets, on emploie des générateurs d'Ekman avec trois tuyères à l'avant, deux latérales à deux

Digitized by Google

niveaux différents. Les gaz sont brûlés par de l'air chaud au-dessus du pont comme à l'ordinaire.

A Buchscheiden, près Klagenfurt, on puddle au gaz de tourbe et on consomme par tonne de fer brut obtenu 87 à 110 hectolitres de tourbe desséchée.

En Italie, dans les vallées lombardes comme dans le val d'Aoste, on puddle au gaz de tourbe, ainsi que nous l'avons dit précédemment. A Lecco on consomme par 1 000 kilogrammes de fer brut 2 020 kilogrammes de tourbe mélangée d'un cinquième de bois. Dans le val d'Aoste, d'après M. Giordani, on consomme 1 500 à 1 800 kilogrammes de bonne tourbe. Les fours à puddler ont deux soles et il y a une sorte de chambre de dépôt pour les poussières entre le gazogène et le laboratoire.

Chauffage avec les gaz de hauts fourneaux. — Ce système, qui a été essayé autrefois en France par MM. Thomas, Laurens et d'Andelarre, avec assez de succès, ne s'est réellement implanté dans la pratique que dans les usines du val d'Aoste. Là au moyen d'un haut fourneau produisant 3 tonnes et demie à 4 tonnes de fonte en vingt-quatre heures, on chauffe simultanément deux fours à puddler capables de traiter chacun 75 tonnes de fonte par mois en produisant 70 tonnes et demie de massiaux puddlés. On travaille par charges de 350 kilogrammes; l'opération dure deux heures et demie. Le déchet sur la fonte est de 5 à 6 pour 100.

Chauffage au gaz, système Siemens. — Dans les systèmes de chauffage au gaz que nous avons cités jusqu'à présent, la combustion du gaz s'opère au moyen d'air forcé, chauffé préalablement dans des tuyaux en fonte qu'enveloppent les flammes à leur sortie du laboratoire; et la chauffe, c'est-à-dire le compartiment du four où s'effectuent le mélange du gaz et de l'air et son inflammation, est unique et située à l'extrémité du laboratoire opposée à celle par où sortent les gaz brûlés.

Dans le système Siemens, le gaz destiné à la combustion est préalablement porté à une très-haute température, ainsi

Digitized by Google

que l'air comburant, qui est simplement appelé par le tirage naturel du four sans emploi de soufflerie; leur échauffement se fait par leur passage à travers deux chambres à briques, ou régénérateurs de chaleur, qui, dans une période précédente, ont été portées au rouge par le passage des produits de la combustion.

Il y a une chauffe à chaque extrémité du laboratoire du four, et ces deux chauffes servent alternativement à la combustion du gaz. Quand l'une est éteinte, elle reçoit les gaz brûlés venant de l'autre, qui la traversent pour se rendre aux régénérateurs. A l'alternance suivante, elle reçoit au contraire le gaz non brûlé et l'air qui viennent de se chauffer, en traversant les régénérateurs portés au rouge, et qui forment la flamme. Celle-ci, comme on voit, part tantôt d'un côté et tantôt de l'autre.

Nous n'avons pas l'intention de décrire ici complétement ce système de chauffage, qui est bien connu sans doute de nos lecteurs. Nous leur donnerons seulement à la planche XXVI le dessin complet d'un four à puddler chauffé par le procédé Siemens au moyen des gaz de lignite dans l'usine de M. Gregorini, à Lovere. Il suffira pour faire comprendre exactement le système à ceux de nos lecteurs qui ne le connaîtraient pas. On y verra les arrivées d'air et de gaz qui sont réglées au moyen de soupapes à siége manœuvrées par des vis. Le premier clapet d'inversion, placé dans une boîte qui communique par le haut avec l'entrée d'air, par le bas avec la cheminée, et par les deux côtés avec les chambres à briques d'avant et d'arrière destinées à l'air, sert à envoyer l'air tantôt dans l'une, tantôt dans l'autre de ces chambres, et à diriger les gaz brûlés venant tantôt de l'arrière et tantôt de l'avant dans la cheminée de sortie. Le second clapet d'inversion, celui placé le plus loin du four, sert pour le gaz combustible; ses quatre orifices communiquent avec l'entrée du gaz, avec la sortie des gaz brûlés, avec les deux chambres à briques destinées au gaz; son but se comprend aisément d'après ce que nous venons de dire du précédent. On remarquera aussi dans ce dessin que le

Digitized by Google

gaz et l'air sont amenés dans les chauffes par tranches parallèles et verticales. Sur le côté extérieur des chauffes on a placé des *cassins* ou compartiments pour le chauffage préalable des gueusets.

Le gaz brûlé dans les fours à puddler, système Siemens, provient de générateurs d'une forme spéciale à cet inventeur. Ils se composent d'une chambre voûtée dont l'avant est fermé par un plan incliné ou sorte de grille à échelons, sur lequel descendent, en couche épaisse, les menus combustibles chargés par une trémie au fur et à mesure de leur consommation. Le gaz, qui provient à la fois de la distillation et de la combustion incomplète du combustible, et qui a pris dans cette chambre une certaine pression, s'échappe par une cheminée verticale en briques d'une certaine hauteur. De là il se dirige par une conduite horizontale en tôle, où il se refroidit, vers les fours qu'il doit alimenter. Ceux-ci doivent être placés à un niveau inférieur à celui de la conduite, afin que l'arrivée du gaz dans leur chauffe se fasse avec une certaine pression, provenant tant de celle initiale dans le générateur, que de la différence de densité du gaz chaud et du gaz froid dans les deux branches verticales du siphon renversé qui se trouve ainsi intercalé entre le générateur et le four. Cette pression d'arrivée du gaz dans la chauffe est toujours très-peu considérable, quelques millimètres d'eau seulement; elle est particulièrement faible, lorsque le combustible employé donne peu de produits volatils par sa distillation, comme c'est le cas avec des menus cokes, des menues anthracites ou des houilles sèches. Aussi, dans ce dernier cas au moins, on trouverait avantage à employer des générateurs soufflés, comme les gazogènes Thomas et Laurens par exemple, avec lesquels on pourrait obtenir une pression initiale de plusieurs centimètres d'eau.

Dans le système Siemens, il est impossible, à cause de la faible pression du gaz, d'intercaler sur son passage des réfrigérants proprement dits destinés à le débarrasser de la vapeur d'eau qu'il peut contenir : on y trouverait cependant un grand intérêt, surtout pour l'emploi de combustibles

Digitized by Google

humides ou contenant de l'eau de combinaison, comme les lignites, le bois ou la tourbe. Un gazogène soufflé permettrait d'avoir des réfrigérants et d'installer aussi des chambres à poussière pour éliminer les particules cendreuses. Le système Lundin, dont nous avons parlé à propos de la Suède, dans le premier chapitre de cette seconde partie, n'est autre qu'une application des perfectionnements que nous signalons comme des *desiderata* du système Siemens.

L'avantage d'une pression initiale un peu forte est encore sensible lorsqu'un seul groupe de générateurs doit alimenter une série de fours situés à une certaine distance les uns des autres, c'est-à-dire lorsque le gaz doit être distribué par une canalisation un peu complexe.

L'emploi du système Siemens pour le chauffage des fours à puddler a été essayé dans un assez grand nombre d'usines à fer. Une des plus anciennes applications est celle qui a été effectuée dans les forges de Sougland et du Pas-Bayard (Aisne) en 1863, par MM. Godard, Desmarets et Cᵉ; M. Marin, ingénieur de ces usines, a rendu compte de ces essais, qui ne se sont pas continués par suite de circonstances commerciales. Les fours à puddler anciens, munis de cassins, traitaient en vingt-quatre heures sept à huit charges de 225 kilogrammes de fonte, en consommant 900 kilogrammes de houille par 1 000 de fer brut. Les fours Siemens, desservis, dit-il, par des gazogènes insuffisants, n'ont pu traiter que cinq et demie à six charges; mais la consommation de combustible est descendue à moins de 700 kilogrammes; le déchet, en allure normale, a aussi diminué de 2 à 3 pour 100. Les fours à réchauffer ordinaires passaient en vingt-quatre heures douze à seize charges, produisant 5 600 kilogrammes de bidons rognés, en consommant par 1 000 kilogrammes de ces bidons 600 kilogrammes de houille et 1 125 de fer brut. Le four à réchauffer Siemens passait treize à quatorze charges produisant aussi 5 600 kilogrammes de bidons rognés, avec une consommation par tonne de 360 kilogrammes de houille avec déchet moindre de 1,50 à 2 pour 100. La houille employée était de la houille

Digitized by Google

demi-grasse de Charleroi, ou un mélange de trois cinquièmes de houille grasse de même provenance avec deux cinquièmes de houille maigre.

En décembre 1865, M. Gregorini installa à Lovere le four à gaz de lignite dont nous donnons le dessin, et qui fonctionne encore actuellement. M. Gregorini a déclaré qu'en quatorze mois de marche (1868-1869), il n'avait eu que vingt et un jours d'arrêt, consacrés à quatre réparations ; cependant il puddle à haute température.

En 1867, MM. Servais et Cᵉ, propriétaires des hauts fourneaux de Hollerich (Luxembourg), établirent à Weilerbach (Prusse rhénane) un four Siemens destiné au puddlage des jets et bocages de fonte grise provenant de leur fonderie. Dans ce four, d'après le *Bulletin du comité des forges de France*, on traite en vingt-quatre heures dix charges de 200 kilogrammes en alternant, après deux charges de fonte, une de ferraille. Ces fontes grises donnent 8 à 10 pour 100 de déchet; la consommation moyenne de charbon est de 1 000 kilogrammes pour la production de 1 000 kilogrammes de fer, y compris le rallumage. Ce déchet est très-faible pour des fontes qui doivent être travaillées longtemps hors du laitier; dans des fours ordinaires elles donneraient probablement 12 à 14 pour 100 au moins. Auparavant, avec les fours ordinaires, on employait du charbon maigre et on travaillait des fontes blanches, quatorze charges par vingt-quatre heures; on brûlait en moyenne 1 100 à 1 200 kilogrammes par tonne de fer.

Mais, d'après M. Boistel, représentant de M. Siemens, le faible nombre de charges effectué à Weilerbach tient à ce qu'on n'y fabrique que des fers fins, exigeant un long travail, et à ce que la force motrice fait défaut pour le cinglage et l'étirage.

En 1867, nous avons étudié dans une forge des environs de Saint-Étienne la marche de deux fours à puddler Siemens. Dans cette forge, les fours ordinaires, travaillant en fer fin avec des fontes grises un peu manganésifères, passaient en douze heures cinq charges de 210 kilogrammes avec une

Digitized by Google

consommation de houille qui devait être de 1300 kilogrammes environ par tonne de fer brut. Un des fours Siemens n'avait point de cassin; on y faisait six charges de 210 kilogrammes en douze heures; dans le second, muni de cassin, on arrivait à sept charges. Ces fours étaient desservis par deux générateurs brûlant chacun environ 2000 kilogrammes de houille en vingt-quatre heures; le gaz arrivait par un seul tuyau descendant aux deux fours, qui étaient un peu plus bas que les générateurs, condition mauvaise pour la bonne marche du chauffage. La température des gaz brûlés arrivant à la cheminée était de 300 degrés environ; cette cheminée renfermait une chaudière verticale; mais pour obtenir de celle-ci la vapeur que fournissaient deux puddlings ordinaires, il aurait fallu quatre fours Siemens.

M. Siemens a communiqué en 1868 à l'Association britannique les résultats obtenus à l'usine de Bolton (Lancashire), en comparant un four chauffé par son système à un four ordinaire à grille. Ce dernier traitait en vingt-quatre heures douze charges de 219 kilogrammes, qui rendaient chacune 193 kilogrammes de fer brut. Le déchet était donc 12 pour 100 et la consommation de fonte par tonne de fer puddlé 1 134 kilogrammes. Dans le four à gaz on passait en vingt-quatre heures dix-huit charges de 192 kilogrammes, qui rendaient 187 kilogrammes; le déchet était donc moindre que 2,6 pour 100, et la consommation de fonte par tonne de fer n'était que de 1 026 kilogrammes. Le four à gaz travaillait sans autels à courant d'eau; on en ajouta, et les résultats se modifièrent comme suit :

Moyenne de la charge de fonte	219 kil.
— du rendement en fer par charge. . . .	220 —
Consommation moyenne d'hématite rouge pour garnissages par charge.	38 —

M. Siemens ne chiffre pas les consommations de combustible; mais il déclare que l'économie a été 40 à 50 pour 100 au moins. Au four à gaz de Bolton, on traitait des

Digitized by Google

fontes de forge ordinaires, au moyen des ouvriers puddleurs ordinaires de l'usine; et le travail s'était déjà prolongé pendant huit mois sans réparations, la voûte se trouvant encore en très-bon état. M. Siemens conseille de travailler par postes de huit heures, et avec le crochet mécanique de M. Lemut, moyennant quoi, dit-il, un four de son système produira annuellement 954 tonnes de fer de qualité supérieure, avec le même poids de fonte grise et la proportion ordinaire de garnissage.

L'application la plus considérable des fours Siemens a été faite dans les usines de M. de Wendel, à Hayange, Jamailles, Moyeuvre et Styring (Moselle) : le nombre des générateurs dans ces quatre usines doit s'élever à deux cent quatre-vingt-quatre, dit-on. Les fours à réchauffer aussi bien que les fours à puddler doivent être tous chauffés par le même système. Les puddlings sont doubles et munis d'appareils mécaniques, système Lemut. D'après M. Krantz, professeur de métallurgie à l'université de Louvain, on y fait en vingt-quatre heures vingt charges de 400 kilogrammes de fonte chacune, qui fournissent 6 500 à 7 500 kilogrammes de fer, avec une consommation de 450 kilogrammes de houille aux 1 000 kilogrammes de fer; tandis que dans les anciens fours, avec la même fonte, le même charbon et les mêmes ouvriers, on produisait seulement 4 000 à 4 500 kilogrammes de fer, en consommant 700 kilogrammes de houille par tonne de fer. Le déchet serait moindre de 3 pour 100 environ, et les fers bruts sont sensiblement supérieurs en qualité à ceux qui provenaient du travail ordinaire. Mais il paraîtrait que la faible consommation de combustible avait déjà été obtenue dans des fours doubles mécaniques chauffés à la houille, de sorte que nous ne pouvons indiquer quelle économie le système Siemens a réellement permis d'obtenir. Quant aux fours à réchauffer, leur marche est encore plus avantageuse que celle des fours à puddler; la consommation de houille peut y descendre jusqu'à 200 kilogrammes par 1000 de fer fini fabriqué.

En Angleterre, jusqu'à présent, le puddlage au gaz ne paraît

Digitized by Google

pas avoir pris une très-grande extension ; on le comprend en songeant à la qualité et au bas prix des houilles anglaises. Toutefois, outre l'usine de Bolton, quelques autres forges emploient des puddlings Siemens, par exemple celles de Monkbridge, près Leeds, et de Glascow. A la grande usine de Barrow (North Lancashire), le système Siemens est employé sur une très-grande échelle pour le puddlage, le réchauffage, la fusion, etc. M. Josias T. Smith, son directeur, a déclaré devant la réunion des maîtres de forges anglais en 1869 que l'économie moyenne de combustible obtenue pendant une période de deux ans s'est élevée à 44 pour 100 en matières, et à plus de 50 pour 100 en argent, à cause de la moindre valeur du charbon consommé ; le rendement des fours Siemens a donné une économie de 31 pour 100 sur celui des fours à grille, et le montant des réparations a été juste les deux tiers des anciens frais. M. Smith s'est loué en outre de la propreté et de l'ordre qu'il peut maintenir dans son usine grâce au système Siemens, et de l'absence de fumée, ce qui n'est pas un avantage à dédaigner dans le voisinage d'une grande ville. Il croit que l'augmentation des frais d'établissement est compensée par l'augmentation de la puissance de fabrication.

Toutefois l'emploi du système Siemens s'est moins répandu pour le puddlage que pour le réchauffage ou la fusion. Les avis des métallurgistes paraissent encore partagés au sujet de ses avantages pour le puddlage. On trouvait récemment dans le *Bulletin du comité des forges de France* (janvier 1870) la note suivante :

« Il résulte des détails positifs qui nous sont donnés que cette application faite sur une échelle restreinte réussit assez bien, mais qu'étendue à un grand nombre de fours, elle présente des inconvénients très-sérieux, au moins pour le puddlage, au point de vue de la qualité des produits. Au réchauffage, l'économie obtenue serait plus apparente que réelle, par suite de l'impossibilité d'utiliser les flammes perdues. »

Cependant, d'après les renseignements que nous avons

Digitized by Google

pu réunir, on paraît d'accord pour admettre qu'on obtient par le système Siemens une diminution du déchet et une économie sur le combustible consommé au puddlage; quelques usines, comme Weilerbach et Lovere, accusent même une amélioration dans la qualité du fer. D'autre part, on lui reproche surtout deux inconvénients :

1° L'encrassement des régénérateurs par des sarazins ou gouttelettes fines de scories entraînées par le tirage. A Weilerbach, dit-on, après sept à huit semaines de travail, il faut arrêter le four pour réparer à neuf les chicanes. Mais nous croyons que cet inconvénient est dû à une mauvaise direction du four; en ayant soin d'avoir très-peu de tirage, on n'aura pas d'encrassement, comme le prouve l'expérience de Lovere et de Bolton;

2° Les dépôts de goudron, qui gênent la manœuvre des valves. Pour les éviter, il suffit de placer les gazogènes assez loin des fours et de refroidir les tuyaux de conduite du gaz.

M. Boistel, représentant de M. Siemens, vient de publier (*Annales industrielles*, mars 1870) les résultats obtenus aux forges de la Basse-Indre (Ad. Langlois et C°) dans un four à puddler Siemens, mis en marche le 1er octobre 1869. Voici ces résultats :

Puddlage de fonte au charbon de bois fabriquée avec minerais de Bilbao, à l'air froid. — En cent cinquante-quatre heures on a fait cent trente-cinq charges de 200 kilogrammes de fonte chacune.

Consommation.

Fonte au bois	27 000 kil.
Ferraille pour six soles.	600 —
Minerai de Bilbao pour cordons.	3 400 —
Total.	31 000 kil.
Houille (moitié Sunderland, moitié Cardiff), 157 hectol. à 82 kil. l'un.	12 874 kil.

Production.

Fer brut supérieur.	22 007 kil.

Digitized by Google

Mise aux 1 000 kilogrammes de fer brut.

Fonte	964 kil.
Ferraille	21 —
Minerai	121 —
Houille	460 —

A la Basse-Indre, avec les fours à puddler ordinaires, on consomme, en puddlant la même fonte, 1 050 kilogrammes de fonte et 520 kilogrammes de houille par 1 000 de fer.

Puddlage de fonte au coke de Middlesbro. — En cent vingt heures, on a fait quatre-vingt-dix charges, d'abord de 180 kilogrammes, ensuite de 200 kilogrammes de fonte, toujours avec 25 kilogrammes de ferrailles.

Consommation.

Fonte au coke	17 560 kil.
Ferraille	2 550 —
Minerai de Bilbao	3 600 —
Total	23 710 kil.
Houille, 105 hectol. à 82 kil. l'un	8 610 kil.

Production.

Fer brut ordinaire	19 756 kil.

Mise aux 1 000 kilogrammes de fer brut.

Fonte	890 kil.
Ferraille	128 —
Minerai	182 —
Houille	437 —

Avec les fours ordinaires, on consommait 1 110 kilogrammes de fonte et 600 de houille par 1 000 kilogrammes de fer brut.

Dans cette usine, le four à puddler, encore unique, est simple; nous admettons volontiers, avec M. Boistel, qu'avec un four double la consommation de combustible ne dépasserait pas 400 kilogrammes de houille de bonne qualité par 1 000 kilogrammes de fer brut ordinaire.

Digitized by Google

Quant au réchauffage de paquets ordinaire, où l'on consomme 1 100 kilogrammes de fer brut et 500 de houille par 1 000 kilogrammes de fer fini, nous admettons aussi volontiers, avec M. Boistel, qu'on ne consomme au four Siemens que 1 050 kilogrammes de fer brut et 250 de houille par 1 000 kilogrammes de fer fini.

Quoi qu'il en soit, après les études que nous avons faites dans plusieurs usines sur le système Siemens, notre conclusion est que son application est plus difficile et moins avantageuse pour le puddlage que pour le réchauffage et la fusion. Les causes en sont multiples et nous allons les exposer :

D'abord, ainsi que nous le disions en commençant, la flamme dans le four à puddler a un double rôle calorifique et chimique, tandis que dans les fours à réchauffer et à fondre on n'a besoin que d'une flamme chaude et neutre. On a dû retrouver dans le puddlage au gaz Siemens les mêmes difficultés que l'on éprouve dans l'emploi direct des combustibles sur les grilles; certaines houilles donnent des flammes trop courtes; d'autres, comme les lignites, donnent des flammes trop oxygénées et humides; d'autres, pour fournir la chaleur maximum nécessaire, exigent un violent tirage et par suite un appel d'air non brûlé dans le four. Quand on les gazéifie dans le générateur Siemens, tous les combustibles ne donnent pas du gaz de même composition : les uns fournissent du gaz riche en hydrogène, d'autres du gaz oxygéné, d'autres du gaz riche en vapeur d'eau et pauvre en carbone. Aussi dans le même appareil on obtiendra d'excellents puddlages avec un gaz chaud et riche en carbone non brûlé, tandis qu'on aura des puddlages longs, coûteux et mal épurés, avec un gaz froid et riche en oxygène. Avec un gaz riche en carbone et chaud, on peut à volonté obtenir des flammes oxydantes, neutres ou réductives et carburantes, qui s'étendent sur toute la surface de la sole, et par suite travailler dans les meilleures conditions pour le déchet et pour la qualité. Avec un gaz chargé d'oxygène et de vapeur d'eau comme celui que donnent certaines houilles ligniteuses, on

Digitized by Google

n'arrivera pas à obtenir une flamme carburante ou même neutre, et on ne pourra ni faire des puddlages soignés ni éviter des déchets considérables. Des houilles sèches, peu gazeuses, donneront un gaz qui se chargera facilement d'acide carbonique et qui ne sera pas assez chaud dans le laboratoire du four. Nous ne parlons pas des combustibles qui, comme les houilles anthraciteuses, se gazéifient mal dans le générateur Siemens.

De plus, pour que le gaz se distribue bien aux fours à puddler, pour qu'il donne une flamme bien fournie et remplissant le laboratoire, il faut qu'il prenne une certaine pression dans le générateur : cette pression initiale n'est possible qu'avec des houilles gazeuses qui distillent. Plus les houilles seront maigres, plus il sera difficile d'assurer le bon chauffage de plusieurs fours desservis par un même groupe de générateurs. On pourra réussir avec un ou deux fours desservis par leurs générateurs spéciaux; mais, lorsqu'on voudra opérer plus en grand, on éprouvera des difficultés inattendues.

On voit donc que la nature des houilles que l'on a à sa disposition présente plus d'importance pour le chauffage des fours à puddler que pour celui des fours à réchauffer, qui réclament seulement une haute température.

Mais, en admettant qu'on ait à sa disposition une houille parfaitement appropriée à la nature du travail, il se présente encore d'autres difficultés. La construction d'un four à puddler Siemens, avec ses régénérateurs, ses conduites de gaz, son générateur, est coûteuse; les dispositions en sont un peu compliquées; la manœuvre des clapets d'arrivée d'air ou de gaz et des valves d'inversion exige une certaine attention. Ces frais, cette complication, cette attention spéciale peuvent paraître, et nous paraissent à nous, hors de proportion avec le but à atteindre, c'est-à-dire le puddlage en vingt-quatre heures de douze, quatorze ou dix-huit charges de fonte fournissant de 2 300 à 3 500 kilogrammes au plus de fer brut. Pour produire une grande quantité de fer brut, il faut une grande quantité de fours, et par suite exécuter une distribution complexe du gaz des générateurs, qui

Digitized by Google

sont forcément situés à une assez grande distance. Pour remédier au premier inconvénient et diminuer le nombre des appareils ainsi que la complication de l'usine, on a, dans presque toutes les forges qui puddlent au gaz, augmenté les dimensions des fours à puddler : on l'a fait à Allevard, dans le val d'Aoste, en Styrie, pour les fours qui emploient les gaz de bois, de hauts fourneaux, de lignite ; on l'a fait à Hayange, à Moyeuvre, à Styring pour les fours Siemens. De cette façon, au lieu d'avoir toute la complication de l'appareil par chaque charge de 200 kilogrammes, on fait des charges de 400 et 500 kilogrammes et on a un nombre de fours moindre. Mais ces charges considérables ne peuvent être travaillées par un seul homme : il faut donc employer des fours doubles, et même la puissance musculaire de deux hommes est insuffisante, si elle n'est point aidée, pour opérer le puddlage suffisamment vite ; aussi M. de Wendel a-t-il été conduit à joindre l'emploi du puddlage mécanique à celui du chauffage par le système Siemens.

Le puddlage mécanique nous paraît aussi à nous l'associé presque obligatoire du puddlage au gaz. On l'a reconnu encore en Styrie, à Zeltweg, où l'on chauffe au gaz de lignite et où l'on puddle mécaniquement par le système Dormoy.

La fusion des charges est quelquefois assez longue dans le four à puddler Siemens ; si on charge la fonte froide, on court le risque aussi de voir les gaz s'éteindre ; il est utile de la chauffer préalablement, et on a disposé pour cela aux deux côtés extérieurs du four deux cassins ou compartiments de réchauffage. A Sougland on avait imaginé d'avoir deux soles à la suite l'une de l'autre, et de puddler sur l'une tandis qu'on fondait sur l'autre ; mais ce système nous paraît difficile en pratique, à cause de la longueur des flammes qu'il exige, et nous croyons qu'il n'a pas été couramment employé. Ailleurs on a cherché à faire arriver directement dans le laboratoire la fonte préalablement mise en fusion dans des cubilots ; mais il a fallu y renoncer pour diverses raisons : si le bouchage des cubilots était manqué, les

Digitized by Google

fours attendaient; la forge était encombrée de fonds de poches et de vieilles poches; la sole et les cordons du four étaient corrodés tout de suite.

Dans certaines usines on a trouvé qu'on passait plus de charges avec le système Siemens qu'avec le système ordinaire; ailleurs on a trouvé le contraire, ainsi qu'on a vu plus haut. Ce désaccord tient certainement à la quantité et à la nature du gaz fourni par les houilles consommées dans les gazogènes. Partout on a trouvé un déchet moindre sur le fer, ce qui est peu surprenant, puisqu'on peut plus aisément rendre la flamme du gaz neutre ou réductive que la flamme de la houille. Non-seulement le déchet est moindre que par l'ancien système de chauffage, mais souvent il est presque entièrement couvert par la réduction des scories et du minerai ajoutés à la charge, ainsi que M. Siemens l'a constaté à Bolton.

Les résultats chiffrés que nous avons du puddlage Siemens montrent que l'économie de combustible n'est guère que de 200 kilogrammes par tonne de fer puddlé. Les fours Siemens pouvant difficilement chauffer des chaudières à vapeur, il importe de savoir si la dépense du combustible nécessaire pour l'obtention de la vapeur destinée aux machines et pilons, ne dépasse pas cette économie de 200 kilogrammes par tonne. On admet assez généralement qu'avec les fours à puddler ordinaires on peut obtenir, au moyen de chaudières chauffées par les flammes perdues, 3 à 4 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille brûlée sur la grille, soit 2 500 à 3 000 kilogrammes environ par tonne de fer brut ordinaire. Avec les 200 kilogrammes économisés brûlés sur la grille d'une chaudière à vapeur perfectionnée, on n'arrivera pas à produire cette quantité de vapeur et à remplacer l'action des gaz perdus. Par conséquent, dans une usine qui ne possède point de moteur hydraulique et qui brûle de la houille, on n'obtiendra pas une économie réelle de combustible en remplaçant des fours à puddler à grille par des fours à puddler Siemens; la propreté de l'usine, la diminution du déchet, peut-être même l'augmentation de qualité pourront

Digitized by Google

décider à cette transformation, mais son avantage ne ressort pas immédiatement. Il ne faut pas oublier cependant que le système Siemens permettra de puddler avec le gaz de certains combustibles impurs ou imparfaits qui ne pourraient être employés directement.

Pour le réchauffage, la question change de face. Il s'agit seulement d'avoir la flamme la plus chaude et la plus neutre possible et de la maintenir aussi régulièrement que possible pendant un long espace de temps. De plus, la charge à chauffer a une masse beaucoup plus grande que 200 kilogrammes et moins en disproportion avec la masse des maçonneries du four. Aussi on obtient une économie qui peut aller jusqu'à plus de 50 pour 100 du combustible, soit 250 ou 300 kilogrammes de houille par tonne de fer; en outre, on peut réchauffer à des températures impossibles à atteindre régulièrement avec une chauffe à grille.

Ces diverses raisons ont fait employer avec avantage le système Siemens pour le réchauffage soit de gros paquets ou trousses, comme dans la fabrication des tôles ou des rails, soit de petits paquets ou de billettes dans la fabrication des petits fers. On trouve beaucoup plus de fours à réchauffer au gaz que de fours à puddler.

Les frais d'installation d'un four à puddler ou d'un four à réchauffer (pour 12 tonnes de fer en vingt-quatre heures) chauffé par le système Siemens sont de 6 000 francs.

Systèmes divers de chauffage. — Depuis quelques années, on s'est beaucoup préoccupé de rechercher un système plus simple que le système Siemens, qui permette l'emploi de certaines houilles menues, maigres, pour le chauffage des fours à puddler, et qui d'autre part débarrasse les usines des fumées qui sortent habituellement des cheminées des fours à puddler.

En Angleterre, *M. Wilson* a imaginé un système de foyer qui a été essayé pour les fours à puddler, d'abord à Glascow, puis à Milton (Yorkshire), à Bolton (Lancashire), et qui est employé avec quelques modifications à l'usine de Stockton, près Middlesborough. Ce foyer a la forme d'un généra-

Digitized by Google

teur Siemens, mais il occupe la place ordinaire de la chauffe dans un four à puddler. Le combustible, chargé par une toquerie, descend lentement en couche épaisse sur un plan incliné en briques réfractaires où il distille peu à peu et d'où il tombe sur le fond de la chauffe; au-dessus du plan incliné, un jet de vapeur entraîne un courant d'air à travers le coke incandescent de la base du talus, en formant ainsi de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène qui viennent se mélanger aux gaz provenant de la distillation du combusbustible, et qui sont obligés de passer sur la couche incandescente. L'air comburant, entraîné aussi par un jet de vapeur, circule d'abord dans des canaux autour de la sole, où il se chauffe, et arrive dans un espace voûté au-dessus de la chauffe, d'où il descend à travers les fentes pratiquées dans les briques pour venir se mêler aux gaz et produire leur combustion. Ce système ne nous paraît pas avoir conduit à une économie bien considérable, puisqu'à Bolton on consommait avec lui 1 000 kilogrammes de houille pour 1 000 kilogrammes de fer. Dans le Cleveland, il n'a pas rencontré beaucoup de partisans. M. Whitwell, de Stockton, ayant déclaré qu'il obtenait par semaine avec le four Wilson 15 tonnes de fer brut en faisant cinquante-neuf charges et en consommant 875 kilogrammes de menus charbons bruts par 1 000 kilogrammes de fer, on lui répondit que chez MM. Bolckow, Vaughan et Cᵉ, avec le four ordinaire et avec les mêmes fontes, on ne consomme que 837 kilogrammes de houille par tonne.

Un autre système de four à puddler, imaginé par ***MM. Jones, Howson et Gjers***, a mieux réussi et pris plus d'extension en Angleterre. On en trouve un grand nombre à l'usine de Newport, chez MM. Fox Head et Cᵉ, près Middlesborough; à celle de Blænavon, dans le pays de Galles, et ailleurs encore. Dans ce système, la chauffe est à cendrier fermé et à grille à échelons; elle reçoit au-dessous de la grille un jet de vent chauffé à 250 degrés environ et elle possède au milieu de sa voûte une rangée de tuyères verticales qui lancent aussi du vent chauffé. A la base de la cheminée se trouve

Digitized by Google

un appareil à air chaud formé de deux moufles cloisonnés dans lequel le vent est envoyé par un jet de vapeur et où il se chauffe. A l'usine de Newport, où il y a vingt-six de ces fours, la moyenne des consommations pour dix mois (1869) a été par tonne de fer brut, en travaillant en fonte grise :

Fonte.	1072 kil.
Houille, y compris allumages et arrêts .	825 —

Avec les puddlings ordinaires, dans la même usine, en travaillant aussi de la fonte grise, on consomme 1100 à 1130 kilogrammes de houille. A Blænavon, où les fours ordinaires consomment, dit-on, 830 kilogrammes de houille par tonne de fer brut, on est descendu avec le four Gjers à 730 kilogrammes.

Enfin nous citerons encore le *système Boetius*. Dans celui-ci, la chauffe a presque exactement la forme d'un générateur Siemens; elle est formée sur trois côtés par une double paroi qui permet la circulation de l'air appelé par tirage naturel. Cet air se chauffe et vient déboucher par des orifices inclinés percés dans la voûte au-dessus du pont de chauffe, et de bas en haut par des orifices verticaux percés dans le pont de chauffe lui-même. On brûle ainsi, au fur et à mesure de sa formation, le gaz provenant du générateur, pourvu qu'il ne soit pas humide. Mais ce système de chauffage, qui a très-bien réussi pour les verreries, les fours à zinc, par exemple, ne s'est pas beaucoup répandu pour le puddlage et le réchauffage jusqu'à présent. A Saint-Chamond on a dû y renoncer, dit-on, parce que la flamme, quand on réussissait à l'obtenir convenable, était trop courte pour le réchauffage; on en est revenu à la grille ordinaire. En Belgique, à Sclessin et à Seraing, il sert au réchauffage. Dans la première de ces usines il permet l'utilisation de houilles très-menues et maigres; on y fait vingt-huit paquets au four Boetius comme au four ordinaire, mais les chaleurs y sont un peu plus fortes, dit-on; quant à l'économie de combustible, elle est peu sensible. On aurait obtenu, croyons-nous, avec des fours soufflés, des résultats aussi bons pour l'emploi des menus maigres.

Digitized by Google

En Angleterre, à l'usine de Victoria, où l'on consommait en moyenne 442 kilogrammes de houille par 1 000 kilogrammes de fer réchauffé dans les anciens fours, on n'a consommé avec le four Boetius, d'après M. Thouvenin, représentant de l'inventeur, que 345 kilogrammes.

On n'emploie le système Boetius pour le puddlage qu'à Dusseldorf (Prusse), chez M. Piedbœuf, dans une usine dirigée par les agents de M. Boetius, et où les fours peu nombreux peuvent être l'objet de soins qu'il est presque impossible de prendre dans une grande usine. Nous trouvons dans les *Annales industrielles* des chiffres qui paraissent se rapporter à cette usine : au puddlage, on ferait en vingt-quatre heures quinze charges de 240 kilogrammes de fonte, en brûlant 3 000 kilogrammes de houille de la Ruhr, ce qui doit correspondre à peu près à 900 kilogrammes de houille par 1 000 kilogrammes de fer brut; au réchauffage, on brûle 5 000 kilogrammes de houille de la Ruhr pour 18 000 kilogrammes de fer réchauffé, c'est-à-dire 278 kilogrammes par 1 000 de fer. Si ces chiffres sont certains, il faut en conclure que le système Boetius se prête moins bien au puddlage que le système Siemens.

HUITIÈME SECTION

Du puddlage mécanique.

Le travail manuel du puddleur est un des plus pénibles, si ce n'est même le plus pénible que l'on rencontre dans l'industrie. Il exige certainement une sorte d'habileté, mais surtout de la force musculaire, et il n'est en aucune façon propre à développer l'intelligence ou à élever la condition sociale de ceux qui s'y livrent. Il y a peu d'hommes qui possèdent à la fois l'énergie musculaire et la force de constitution qui sont nécessaires pour continuer ce métier quotidiennement pendant des années. Une maladie, même relativement peu grave, suffit pour rendre le puddleur incapable de sa tâche et pour diminuer, sinon pour tarir, son gain journalier. Aussi les puddleurs sont-ils relativement peu

Digitized by Google

nombreux, et leur salaire doit-il forcément être très-élevé; on rencontre parmi eux des hommes qui, avec une intelligence peu supérieure à celle d'un manœuvre terrassier, se font un revenu considérablement plus élevé que celui de beaucoup d'hommes appartenant aux professions libérales. Il en résulte que les puddleurs sont des ouvriers généralement fort difficiles à conduire; et les maîtres de forges anglais, qui ont eu affaire souvent aux grèves de puddleurs, savent qu'ils ne doivent pas compter sur l'intelligence de leurs propres intérêts et sur cette appréciation sérieuse de la position vraie des patrons qu'on rencontre presque chez tous les autres ouvriers anglais. Aussi a-t-on éprouvé depuis longtemps déjà la nécessité de chercher à élever la position des puddleurs, non pas seulement par les institutions ouvrières (écoles, bibliothèques, etc.), qui sont de bonnes choses, il est vrai, mais qui ne suffisent pas, mais surtout en leur faisant sentir que ce n'est pas uniquement de leur main-d'œuvre, de leur force animale qu'ils peuvent tirer parti, en la louant pour un salaire, mais encore de leur adresse et de leur intelligence. Le meilleur moyen est certainement, comme nous l'avons vu conseiller dans des journaux anglais spéciaux qui s'occupent de la question ouvrière, de laisser et même de fournir à l'ouvrier toutes les occasions possibles d'employer et de cultiver son intelligence, en réduisant au contraire autant que possible la partie brutale et pénible du travail. Aussi il y a plus de trente ans qu'on a cherché en Angleterre à employer des machines pour le puddlage; depuis cette date les essais ont été nombreux, et on a pu constater, ce qui est assez instructif, que la masse des puddleurs, loin de considérer l'introduction des machines dans leur spécialité comme une menace pour eux, l'a au contraire vue arriver avec une satisfaction rassurante.

Ainsi que le disait il y a quelques années le journal *the Engineer*, les premières périodes au moins du puddlage d'une charge de fonte se composent d'opérations si simples, qu'il y a lieu de s'étonner qu'elles ne soient pas depuis longtemps effectuées mécaniquement. Il s'agit, en définitive, de

Digitized by Google

brasser d'une façon continue un bain de fonte liquide, et l'outil nécessaire est une simple barre de fer avec un bout recourbé à angle droit. Les mouvements nécessaires ne sont pas du tout compliqués, et un mécanisme assez simple peut suffire. Cependant ce n'est que vers 1862 que le problème du puddlage mécanique a reçu une solution réellement pratique. Auparavant on avait voulu trop obtenir et on n'avait rien fait de bon ; on cherchait à mettre complétement de côté le travail du puddleur et à effectuer l'opération entière, même la formation des boules, par l'action mécanique de la vapeur.

La première idée du puddlage mécanique remonte jusqu'en 1836, et est due à M. Schafhautl, dont le nom est attaché à plusieurs inventions relatives au puddlage. Il imagina un appareil d'une complication considérable, avec lequel il comptait effectuer toutes les phases du puddlage, y compris la confection des boules ; c'était un outil de puddleur ordinaire, commandé par un mécanisme ingénieux, mais peu pratique. Aussi, malgré un essai exécuté à la forge de Tividale, à Tipton, le puddleur mécanique Schafhautl n'a point trouvé place dans le matériel des usines à fer.

En 1853, MM. Walker et Warren imaginèrent de rendre mobile le laboratoire du four à puddler, en le faisant tourner autour d'un axe légèrement incliné : le bain métallique se trouvait ainsi, selon eux, brassé convenablement sans l'intermédiaire d'outils.

En 1856, M. Dyson faisait breveter un four à sole tournante, sur laquelle l'outil restait immobile.

En 1857, M. Newton introduisait au milieu de la voûte un arbre vertical creux, muni de bras, qui en tournant brassaient la fonte sur la sole circulaire du four.

Puis vinrent les inventions de MM. Brown (1858), Maudslay (1859), Allender et Richards (1859), Tooth (1859), qui ressemblaient plus ou moins aux précédentes comme principe, et qui n'eurent pas plus de succès dans la pratique.

C'est en 1862 et en France que le problème du puddlage mécanique reçut enfin une solution réellement satisfaisante ;

Digitized by Google

le puddleur mécanique de M. Lemut, établi par ce maître de forges dans son usine du Clos-Mortier, près Saint-Dizier, fut le premier appareil de ce genre qui rendit des services réels, comme il est encore maintenant, avec les perfectionnements que son inventeur lui a apportés depuis 1862, le meilleur de ceux qui fonctionnent dans les usines. Nous le décrirons sommairement tout à l'heure, en renvoyant le lecteur qui désirerait des détails plus complets à deux mémoires publiés par M. Lemut dans les *Annales des mines* (1862 et 1864).

Les imitateurs ne manquèrent pas au puddleur Lemut, que les maîtres de forges anglais ne pouvaient se décider à employer tel quel, sans doute à cause de sa provenance française. En 1863 apparaissait en Angleterre le *puddleur Bennett*, plus ou moins semblable à l'appareil Lemut, mais de construction plus compliquée et plus fragile; il a été employé chez l'inventeur, à Wombridge (Shropshire) et dans le Staffordshire, mais il a donné des résultats insuffisants. La même année, *M. Griffiths* (qui avait visité l'appareil du Clos-Mortier) faisait breveter un puddleur mécanique assez analogue aussi à celui de M. Lemut, mais plus coûteux, plus compliqué, moins rustique et moins commode. Puis vinrent le *puddleur Harrison* avec un cylindre vapeur spécial placé sur le four, le *puddleur Eastwood* (1864) (1), ceux de *Allender et Cashin*, *Whitham*, *Morgan*, etc., qui se composent tous d'un outil mobile commandé par des mécanismes plus ou moins compliqués. Le meilleur de ces puddleurs mécaniques anglais, et le seul qui ait pris quelque extension chez nos voisins, est celui de M. Griffiths, dont nous avons déjà indiqué la parenté avec l'appareil Lemut. Nous ne parlons pas de ceux qui, comme dans le *système Williams et Bedson*, par exemple, ont un outil fixé invariablement au-dessus ou sur le côté d'une sole mobile.

Le *puddleur mécanique de M. Lemut* est représenté sur la planche XXVII dans son application à un four double sur-

(1) Voir la *Revue universelle*, t. XVI, p. 575.

Digitized by Google

monté d'une chaudière à vapeur, c'est-à-dire à peu près tel qu'il existe dans les forges d'Hayange et Moyeuvre. Il figurait en modèle à l'Exposition de 1867.

Dans cet appareil, M. Lemut s'est proposé d'opérer mécaniquement seulement le brassage du bain, et il laisse à l'ouvrier le soin de confectionner les boules lui-même et avec son outil ordinaire. Pour obtenir un bon brassage mécanique, il fallait imaginer un mécanisme simple, disposé de façon à donner à l'outil de puddlage, ou crochet, qui opère dans le four, un mouvement complexe qui lui fasse atteindre exactement toutes les parties de la sole, quelle qu'en soit la forme. De plus, les dimensions intérieures du four venant à changer pendant le travail, il faut que l'ensemble des lignes décrites par le crochet puisse être modifié dans le sens convenable par l'ouvrier puddleur lui-même, sans qu'il soit besoin de l'intervention d'aucun mécanicien. Le puddleur Lemut, appliqué aux fours à puddler simples, tel qu'il a d'abord fonctionné au Clos-Mortier et tel qu'on le trouvera décrit dans les *Annales des mines*, réalisait ces conditions; la trajectoire complexe que parcourait l'extrémité du crochet était obtenue par la combinaison de trois mouvements, savoir :

1° Un mouvement de va-et-vient à peu près transversal au four, déterminé par la rotation d'une manivelle;

2° Le déplacement angulaire obtenu au moyen d'une coulisse directrice recevant un mouvement d'oscillation autour d'un point fixe;

3° Un mouvement d'avant en arrière et d'arrière en avant produit par le déplacement angulaire du palier de la manivelle donnant le mouvement de va-et-vient.

L'amplitude de chacun de ces trois mouvements pouvait être facilement variée au gré de l'ouvrier, de façon que le crochet atteignît toutes les parties du four.

L'appareil Lemut peut s'appliquer à tous les fours, sans exiger de changement ni dans leur forme ni dans la conduite du travail. Quelques secondes suffisent pour le mettre en marche ou pour remplacer un crochet quand il est trop

Digitized by Google

chaud; d'ailleurs les outils mis en mouvement par le puddleur mécanique étant beaucoup plus forts que ceux que les bras de l'ouvrier pourraient habituellement manier, résistent longtemps à l'action du feu, et l'on ne voit ordinairement chauffer qu'un seul gros crochet pour faire monter la fonte qui, dans un four ordinaire, aurait exigé qu'on en chauffât trois ou quatre.

Comme le dit l'inventeur, ses appareils peuvent s'adapter à la charpente de la halle qui recouvre les fours ou bien être placés en contre-bas du sol, où il est quelquefois commode d'établir aussi la transmission de mouvement; le plus souvent, les montants des fours, convenablement prolongés, fournissent des points d'appui suffisants. Dans leurs diverses dispositions, leur construction est rustique; aucune de leurs parties n'exige un ajustage soigné; aucune n'est fragile et ne craint la poussière ou le manque de graisse.

Mais la pratique a bientôt fait reconnaître que ce n'était pas au four simple, traitant seulement 200 kilogrammes de fonte par opération, qu'il fallait appliquer le puddleur mécanique. Les dimensions des fours simples ordinaires, et la charge de fonte qu'on y peut travailler, sont limitées par la force musculaire de l'ouvrier; mais, puisqu'on a trouvé le moyen d'opérer mécaniquement toute la partie pénible de l'opération, il n'est plus rationnel de restreindre tellement la puissance productive de l'appareil, dont le prix est augmenté. Aussi, en employant des fours à puddler doubles à portes opposées traitant 400 à 500 kilogrammes de fonte par charge, on a obtenu des résultats pratiques bien supérieurs à ceux des fours simples. On sait en effet que les fours doubles ont l'avantage de donner une plus grande production, de consommer moins de houille par tonne de fer fabriqué et souvent de fournir une qualité meilleure. On les emploie peu lorsque le travail doit être opéré en entier par les bras de l'ouvrier, parce qu'ils exigent plus de frais de main-d'œuvre par tonne de fer que les fours simples : on ne peut y gagner du temps par un travail plus actif que ne permettent pas les forces limitées des ouvriers. Avec le

Digitized by Google

puddlage mécanique, au contraire, on a pu augmenter les dimensions du four, imprimer au travail une activité extrême au moyen du brassage énergique produit par deux forts crochets qui se renvoient l'un à l'autre le métal dans la région la plus chaude du four. La forme des fours à deux portes a de plus permis la simplification du mécanisme et la suppression du dernier des trois mouvements dont nous parlions plus haut; en décrivant des lignes qui rayonnent en éventail à partir de chacune des portes, les crochets peuvent atteindre toutes les parties de la sole du four double.

La planche XXVII avec sa légende fera comprendre la disposition de l'appareil. Le mécanisme est supporté par deux bâtis; l'un est suspendu à une traverse boulonnée sur les deux montants du four formant les angles du cendrier; l'autre est placé en travers du four, au-dessus des portes de travail, et boulonné à des appendices verticaux des plaques d'armatures. Un petit arbre transversal fixé au premier de ces bâtis porte à un bout la poulie qui reçoit la courroie de commande venant de la poulie A, et à l'autre bout une roue d'angle qui donne le mouvement à l'arbre général de transmission BC, soutenu par les deux bâtis. L'arbre BC porte en C un disque-manivelle qui donne aux deux bielles à fourche E un mouvement de va-et-vient transversal au four. A son extrémité B, l'arbre porte une vis sans fin qui commande, au moyen d'une roue à denture hélicoïdale, l'arbre transversal DD; celui-ci est muni à chaque bout d'un disque-manivelle dont le manneton s'emmanche avec une bielle HI. Ces dernières sont fixées en I à l'extrémité en retour des coulisses directrices IT et leur donnent un déplacement angulaire. Les deux coulisses tournent chacune autour d'un axe court vertical placé dans l'axe et au-dessus de la porte de travail. A chaque porte correspond un balancier moteur oscillant autour d'un point fixe F, embrassé à peu près au milieu de sa longueur par une bielle E qui s'accroche à deux chevilles en saillie, et guidé un peu plus bas par la coulisse directrice qui se déplace angulairement. Ce balancier est assemblé en G, au moyen d'une cheville amovible, avec l'extrémité

Digitized by Google

du crochet de puddlage, auquel il donne ainsi un double mouvement. Ce mouvement est d'autant plus accéléré, que le tendeur appuie davantage sur la courroie, qui alors glisse moins sur la poulie de commande.

Les fours sont généralement disposés en rangées droites, et un arbre de transmission passant au-dessus de la rangée peut donner le mouvement aux appareils de tous les fours. Au Clos-Mortier, un seul moteur de 14 chevaux active vingt fours, ce qui est bien préférable à l'emploi d'un moteur spécial pour chaque four, disposition vicieuse à cause de la variabilité des efforts à transmettre au crochet.

Voici quelques renseignements sur le fonctionnement de cet appareil, qui est appliqué maintenant à plus de cent fours à puddler, à Hayange, Moyœuvre, Styring, Anzin, Clos-Mortier, Sainte-Marie, etc. :

Au Clos-Mortier, chez M. Lemut lui-même, où l'appareil fonctionne depuis 1862, le travail a été complétement modifié depuis l'introduction de son puddleur. Au lieu de rechercher pour le puddlage, comme autrefois, des fontes gris clair, blanches ou truitées, on s'attache à produire, au coke seul, des fontes très-grises. Ces dernières sont, en raison de la nature des lits de fusion, très-siliceuses et d'un affinage long et pénible quand il faut opérer à bras le brassage, qui dure trente-cinq, quarante et même quarante-cinq minutes. Mais, par le travail énergique et soutenu des puddleurs mécaniques, elles donnent un fer de la qualité dite *de Champagne*, supérieur aux fers à la houille ordinaires et recherché pour la forge et la tréfilerie. On fabrique en outre, par certains mélanges, des fers extra qui rivalisent avec ceux au charbon de bois. On fait de neuf à onze charges par douze heures, le poids de la charge variant de 280 à 320 kilogrammes ; on consomme, par 1 000 kilogrammes de fer brut, 1100 à 1140 kilogrammes de fonte suivant la qualité, 450 à 600 kilogrammes de houille suivant la qualité. On emploie par four un chef puddleur et un second puddleur, sans compter un aide, dont le travail se réduit à tirer la chaînette du tendeur, à remplacer, s'il y a lieu,

Digitized by Google

les crochets trop chauds et à conduire les boules au cinglage.

Dans les fours mécaniques de la Moselle, on fait à peu près le même nombre de charges qu'au Clos-Mortier, mais elles sont de 400 à 450 kilogrammes de fonte. On y a reconnu aussi que la consommation de houille par tonne de fer brut est notablement diminuée, mais que le déchet est un peu augmenté. Ainsi on consommerait 450 à 500 kilogrammes de houille au lieu de 750 à 800 kilogrammes; mais, pour un gain de 250 à 300 kilogrammes sur le charbon, on aurait perdu 25 à 30 kilogrammes sur la fonte. Ce fait, qui a été aussi constaté à Montataire, paraît-il, semblerait indiquer que le puddlage mécanique convient surtout aux forges qui ont la houille chère et la fonte à bon marché.

Voici comment on peut résumer les résultats pratiques de l'emploi des appareils Lemut :

1° Le travail est accéléré et la production par four augmentée : d'où économie sur les frais généraux et l'entretien;

2° La consommation de combustible est réduite de 250 kilogrammes au moins par 1 000 kilogrammes de fer brut;

3° La main-d'œuvre est abaissée, tout en permettant d'augmenter le salaire des puddleurs, bien que leur fatigue soit diminuée;

4° Le déchet n'est pas diminué et quelquefois augmenté; mais il est notablement réduit au réchauffage;

5° La qualité du fer est quelquefois améliorée, parce qu'on peut employer sans inconvénient des fontes qui seraient autrement d'un puddlage trop lent et trop pénible.

Nous avons déjà dit que le puddlage mécanique était l'accessoire presque obligé des fours au gaz : on a reconnu chez M. de Wendel l'avantage de l'association du four Siemens avec l'appareil Lemut.

Un autre système de puddlage mécanique a été imaginé par *M. Dormoy*; il consiste simplement à soutenir l'outil du puddleur à peu près à son milieu et à lui donner, au moyen d'une poulie et d'une courroie, un mouvement de rotation sur lui-même assez rapide (300 à 400 tours par minute).

Digitized by Google

L'outil doit être assez solide pour qu'il ne fléchisse pas, même après un séjour assez long dans le four ; son extrémité présente la forme convenable pour le brassage de la fonte ; il est par suite assez pesant. A Zeltweg (Styrie), où le système Dormoy est employé; on a des fours doubles dans lesquels on traite 500 kilogrammes de fonte à la fois ; ces fours sont chauffés par le lignite de Fohnsdorf, et on n' y consomme que 100 de lignite pour 100 de fer aciéreux; alors que dans les anciens fours simples on consomme 150 de lignite pour 100 ; le déchet est un peu plus élevé dans les fours doubles, mais il est compensé peut-être par une épuration meilleure. On fait dix charges pour fer ou huit charges pour acier en douze heures dans le four double.

M. Dormoy, dans une note qu'il a publiée à Vienne (Autriche), donne la comparaison extraite, dit-il, des livres d'une usine où son procédé est employé; entre l'ancien puddlage et son puddlage à outils rotatifs.

	Four simple ordinaire.	Four double à outils rotatifs.
Charge de fonte.	250 kil.	500 kil.
Prod. mensuelle.	50 000 kil. d'acier.	100 000 kil. d'acier.
Consommation de houille	60 000 kil.	80 000 kil.
Cons. de houille par 1000 k. d'ac.	1 200 —	800 —

Il annonce qu'avec son système on obtiendra les mêmes avantages que ceux déjà signalés à propos du puddleur mécanique Lemut; toutefois nous n'avons pas été en position de nous former une opinion sur la valeur pratique de cette rotation des outils.

Malgré les avantages constatés par un certain nombre de forges, les appareils de puddlage basés, comme ceux de MM. Lemut, Griffiths, Bennett, sur l'emploi d'un outil automate qui exécute à peu près le même travail que l'ouvrier pendant le brassage, n'ont pas pris dans les usines à fer l'extension qu'on aurait pu croire. On leur reproche surtout en Angleterre d'avoir encore trop besoin du concours d'un

Digitized by Google

ouvrier joignant la force à l'adresse, puisqu'ils ne forment pas les boules. De plus, on ne leur reconnaît pas d'avantage pour le puddlage des fontes blanches ou truitées, qui prennent nature rapidement, mais seulement pour celui des fontes grises, qui exigent un travail plus pénible. Cependant l'appareil Bennett est employé à Wombridge et dans deux ou trois forges, l'appareil Griffiths à Milton et Elsecar et aussi dans quelques usines du Staffordshire.

M. Menelaus, l'habile directeur de l'immense usine de Dowlais, a entrepris la question du puddlage mécanique d'une façon tout à fait différente. Il a cherché à perfectionner et à rendre pratique l'appareil Walker et Warren, modifié par M. Tooth, et il a obtenu un succès assez remarquable pour l'engager à établir un atelier spécial avec huit fours rotatifs. On voyait à l'Exposition des produits de ces fours, et M. Menelaus a décrit leur fonctionnement dans une séance, tenue à Paris, de l'Institution des ingénieurs mécaniciens. Nous reproduisons à la planche XXVIII les dessins qu'il communiqua à cette occasion.

Les figures 4, 5 et 6 représentent un des fours. Le laboratoire a la forme d'un ellipsoïde irrégulier ; il est en tôle doublée intérieurement d'une garniture réfractaire ; au milieu il porte une forte ceinture formée de deux cornières boulonnées et munie de deux tourillons ; à l'extrémité qui regarde la chauffe, le collet cylindrique est muni d'un fort cercle qui sert de guide au mouvement de rotation en tournant sur deux roues fixes ; à l'autre extrémité, vers le rampant, se trouve un cercle semblable auquel est boulonnée la couronne dentée par laquelle on donne le mouvement. La chauffe a la disposition de celle d'un four à puddler ordinaire : elle est terminée du côté de l'autel par une ouverture qu'on voit figure 6, pratiquée dans une portée circulaire autour de laquelle peut tourner un couvre-joint en tôle fixé au laboratoire. Le rampant est vertical ; à son entrée est une ouverture circulaire avec un couvre-joint comme le précédent ; un registre permet de régler le tirage ; une porte placée dans l'axe du laboratoire permet de regarder

Digitized by Google

dans celui-ci, en cas de besoin. Le laboratoire peut être enlevé par une grue à l'aide des tourillons, pour être placé sur deux tréteaux bas (fig. 7 et 8) en position pour recevoir la charge de fonte liquide venant du haut fourneau. On l'enlève également, quand l'opération est finie, pour le placer sur deux autres tréteaux plus élevés (fig. 9 et 10) qui permettent, en l'inclinant du côté de la plus grande ouverture (celle qui regarde la chauffe), d'évacuer en une seule boule tout le fer qui s'y trouve.

Les fours sont disposés par groupes de deux, comme on le voit figures 2 et 3; un petit cylindre à vapeur spécial leur donne le mouvement de rotation à l'aide d'une transmission double par engrenages. La figure 1 fait voir comment était disposée à Dowlais la forge d'essai, contenant huit fours rotatifs, la grue de manœuvre, les deux paires de tréteaux et le marteau pilon destiné au cinglage; dans les angles se trouvaient deux petites grues destinées à faciliter la manœuvre des laboratoires pendant les réparations du garnissage.

La charge de chaque four était d'environ 300 kilogrammes de fonte : la vitesse de rotation était d'abord de 6 tours par minute pendant que la fonte est encore liquide; mais on la variait à volonté, de façon à ne faire que 2 tours ou 3 tours par minute pendant la formation des boules. Un ouvrier desservait deux fours, et chaque four passait six charges par jour. On introduisait de l'oxyde de fer pendant le travail comme dans les fours ordinaires. Le déchet sur la fonte, était à peu près le même que celui des fours à puddler ordinaires de Dowlais, savoir 10 à 15 pour 100.

D'après le témoignage de plusieurs visiteurs, le travail du puddlage se fait d'une façon fort convenable dans ces fours. Des métallurgistes d'une grande autorité déclarent que la gouverne du feu est tout aussi facile, et le brassage automatique du bain par le mouvement de rotation au moins aussi efficace que dans les fours à puddler ordinaires. La seule difficulté que M. Menelaus n'ait pas pu vaincre, et qui l'a obligé à abandonner ses appareils, est l'impossibilité de

Digitized by Google

trouver une garniture qui résiste à l'action de la chaleur et à celle du bain pendant le mouvement de rotation; il a essayé à peu près toutes les substances qui peuvent venir à l'esprit; aucune ne lui a donné le succès. Celles qui ont le mieux résisté ont été le *ganister* de Sheffield et le sable titanifère d'Egersund (Norwége). La corrosion rapide des garnitures avait pour résultat un amoindrissement souvent considérable de la qualité du fer. Il reste donc à résoudre le problème d'une garniture réfractaire et résistant à l'action chimique du bain; plusieurs ingénieurs expérimentés dans la matière paraissaient en 1867 espérer qu'on la trouverait. Nous ignorons quel succès les nouvelles tentatives ont rencontré depuis cette date.

On voyait à l'Exposition, comme spécimen du puddlage mécanique de Dowlais, une boule de 300 kilogrammes et des rails provenant d'une seule boule laminée sans paquetage.

NEUVIÈME SECTION

De quelques nouveaux systèmes de puddlage.

Un grand nombre d'inventeurs ont pris des brevets et se sont livrés à des essais divers pour perfectionner l'opération du puddlage, soit en réduisant la durée, soit en améliorant la qualité du fer obtenu. Il serait oiseux de parler ici de ces tentatives, dont aucune jusqu'à présent n'a obtenu de succès pratique. Nous dirons seulement quelques mots de trois procédés nouveaux qui ont fait parler d'eux à l'époque de l'Exposition de 1867.

Procédé Richardson. — Dans ce système, l'inventeur s'est proposé de réunir les avantages de l'affinage rapide, qui a pour type le procédé Bessemer, à ceux du puddlage ordinaire. On sait que jusqu'à présent la présence du phosphore dans les fontes, en proportion même très-faible, a empêché l'obtention d'aciers de qualité suffisante par le procédé Bessemer : le phosphore reste à l'état de phosphure de fer dans la masse ferreuse. Dans le puddlage, au contraire, le

Digitized by Google

phosphore peut être éliminé en grande partie ; il reste dans les scories très-basiques qui se forment à la fin de l'opération, lorsque le fer devient soudant. M. Richardson commence l'affinage au moyen d'une injection de vent à l'intérieur du bain de fonte, ce qui abrége un peu la première partie du travail ; il achève ensuite la décarburation et il forme les boules à la manière ordinaire. Le four à puddler dont il se sert n'a rien de particulier : l'outil de brassage employé au commencement de l'opération seul diffère de l'outil ordinaire ; c'est une sorte de râble en fer creux, terminé par un retour d'équerre percé d'un ou plusieurs orifices ; le vent arrive par un tuyau flexible dans le manche du râble et s'échappe par son extrémité au milieu du bain de fonte, pendant que l'ouvrier opère le brassage. La pression de ce vent est de 20 à 25 centimètres de mercure. Lorsque le bouillonnement commence, le puddleur retire son outil soufflant et continue l'opération avec un crochet ordinaire. Le traitement d'une charge de 200 kilogrammes de fonte grise d'Écosse à la forge de Parkhead (Glascow), où le système Richardson est employé, dure une heure et quart, au lieu d'une heure trois quarts qu'il durait dans le travail ordinaire ; on ne fait que trois boules. On prétend que la consommation de combustible est fort réduite et que la qualité du fer est améliorée, et on donne pour une des raisons de ce dernier fait, que la température du bain étant beaucoup plus haute qu'ordinairement, le fer soude mieux et les scories s'écoulent plus complétement.

Nous avons vu employer ce système de puddlage en 1868 dans la grande usine de Hœrde (Westphalie). L'ouvrier, pendant le brassage qui précède le bouillonnement, changeait une fois de râble creux, parce que cet outil se chauffait assez vite. On ne gagnait pas beaucoup sur la durée de l'opération, puisqu'on ne faisait que six charges en douze heures, comme avec les autres fours ; toutefois le puddleur disait pouvoir faire au besoin sept charges. On continuait à employer ce système à cause de la supériorité de qualité qu'on reconnaissait au fer en provenant.

Digitized by Google

Procédé Ellershausen. — Ce procédé consiste à former des sortes de petits blocs (*pig-blooms* ou gueusets-loupes) en agglomérant des grains de minerai de fer au moyen de fonte liquide. Une nappe de fonte et une nappe de minerai granulé sont dirigées de façon à se rencontrer sous un certain angle au-dessus de moules disposés sur la circonférence d'une grande plaque tournante animée d'un mouvement de rotation assez lent. Les gueusets-loupes qui sont ainsi formés pèsent environ 100 kilogrammes et se composent d'environ 100 de fonte pour 30 de minerai. On les porte sur la sole d'un four à puddler à la chaleur blanche; ils ne fondent pas, mais ils se ramollissent; on les défait avec le crochet et on en forme des loupes de 50 kilogrammes environ, qu'on cingle et qu'on lamine comme d'habitude. C'est une sorte de puddlage sec. Les particules de fer prennent nature et se soudent sans avoir été en suspension dans un bain de scories; les blocs ne perdent presque pas leur forme; la scorie s'écoule sur la sole du four, puis pendant le cinglage et les corroyages ultérieurs. Il semble, à première vue, que les fers bruts ainsi obtenus doivent conserver encore des scories interposées, être pailleux, et que de plus ils ne peuvent jamais être à grain carburé, mais seulement toujours nerveux.

Les essais qui ont été faits à Dowlais en Angleterre n'ont pas donné, dit-on, de résultats très-favorables. On a trouvé que la main-d'œuvre supplémentaire nécessitée pour la désagrégation des blocs faisait plus que compenser l'économie fournie par la suppression des premières phases du puddlage. Mais il y a peut-être lieu de penser que les minerais employés à Dowlais n'étaient ni aussi riches ni aussi fusibles que ceux employés par l'inventeur dans les forges américaines qui appliquent son procédé. En se reportant à la première partie de cette Revue, on verra que les États-Unis du Nord sont tout particulièrement favorisés de la nature pour la richesse et la qualité de leurs minerais de fer.

Le procédé Ellershausen est employé dans les usines de MM. Shœnberger et Cᵉ, à Pittsburg; dans celles de MM. Lyon, Shorb et Cᵉ, à Sligo; de M. Burden, à Troy; de Westerman,

Digitized by Google

à Sharon. Voici, d'après un rapport du docteur Wurth, reproduit par le journal *Engineering*, quelques détails sur son fonctionnement dans ces usines.

Chez MM. Schœnberger et C°, on a déjà fabriqué environ 4000 tonnes de fer en barres par le nouveau procédé. On a employé environ 28 pour 100 de minerais, qui sont des oxydes magnétiques et des hématites rouges venant du Missouri et contenant 65 pour 100 de fer, et on a obtenu en barres brutes un poids de fer supérieur de 5 pour 100 à celui de la fonte employée, tandis que dans le puddlage ordinaire on compte dans cette même usine un déchet de 5 pour 100. Il faut, dans le travail ordinaire, environ 45 kilogrammes de riblons par tonne de fer brut pour faire la sole du four à puddler, tandis qu'avec le système Ellershausen on emploie seulement 15 à 20 kilogrammes de minerai. Pour traiter 360 kilogrammes de blocs, qui rendent environ 270 kilogrammes de fer brut, il ne faut pas plus d'une heure et quart dans un four à puddler simple, et comme on n'a pas besoin de refaire la sole toutes les cinq ou six charges, on peut faire sept charges par poste de douze heures, de sorte que le four produit 1890 kilogrammes dans le même temps que le puddlage ordinaire donnerait 1080 kilogrammes seulement. La consommation de houille par tonne de fer est la moitié de ce qu'elle est dans le puddlage ordinaire ; l'entretien des fours et des outils est aussi beaucoup moins considérable.

Voici diverses analyses relatives à ce procédé :

I. Fonte au coke fabriquée par MM. Schœnberger et C° avec des minerais du lac Supérieur mélangés d'un peu de minerais Sterling et Marmora.

II. Fer brut puddlé provenant de la fonte I.

III. Fer brut fabriqué par le procédé Ellershausen, provenant de la fonte I.

IV. Scorie du puddlage de la fonte I.

V. Scorie du procédé Ellershausen provenant de la fonte I.

	I.	II.	III.
Carbone combiné . . .	2,87	0,13	93
Graphite	1,34		

Digitized by Google

	I.	II.	III.
Silicium	1,02	0,20	0,09
Soufre	0,14	0,011	0,006
Phosphore	0,58	0,12	0,14
Fer	92,46		

	IV.	V.
Acide silicique	14,02	8,95
Peroxyde de fer	17,71	16,01
Protoxyde de fer	60,31	68,88
Chaux	2,08	1,74
Magnésie	0,84	0,85
Alumine	1,44	1,31
Acide phosphorique	2,54	1,74
Sulfure de fer	0,88	0,72

La scorie de puddlage provient du puddlage de la fonte I avec des scories déjà phosphoreuses, tandis que la scorie V s'est formée de toutes pièces; cela explique pourquoi IV contient plus de phosphore et de soufre que V.

Ces résultats, s'ils sont certains, tendent à prouver que le système Ellershausen présente en effet des avantages sérieux pour les usines à fer qui ont à leur disposition des minerais riches et purs comme ceux de Mokta-el-Hadid ou de l'île d'Elbe, et qu'il mériterait d'être expérimenté par une de nos forges du midi de la France.

Obtention du fer brut en grandes masses sans misage. — On sait que généralement le poids d'une barre de fer brut ou ébauché provenant d'une boule, c'est-à-dire de la quatrième ou cinquième partie d'une charge, ne dépasse guère 50 kilogrammes. Pour obtenir des barres, des plaques ou des pièces de fer d'un poids plus considérable, il faut procéder par misage, soudage et corroyage. Mais l'expérience a démontré que très-souvent les soudures des différentes mises composant un paquet laissaient à désirer; le réchauffage donne rarement un soudage aussi parfait que celui qu'on peut obtenir entre les grumeaux de fer composant une loupe au four à puddler. Aussi on s'est depuis longtemps demandé s'il ne conviendrait pas mieux de souder les loupes ou boules entre elles dès leur sortie du four à puddler plutôt que

Digitized by Google

d'attendre qu'elles aient été étirées en barres et refroidies.

Le doublage des loupes est une opération connue, qui s'effectue lorsque l'on veut avoir des largets ou des plaques d'un poids plus considérable que celui d'une simple loupe, pour fabriquer des couvertes de paquets pour rails, par exemple. On a essayé de souder entre elles un plus grand nombre de loupes; mais on n'a pas toujours réussi à effectuer un soudage parfait et à obtenir une masse homogène.

M. Borsig paraît avoir trouvé un moyen assuré d'arriver à ce but. Il exposait en 1867 des loupes sans soudure de forme cubique et de divers poids; la plus lourde atteignait 1064 kilogrammes. Il exposait aussi un certain nombre de pièces de forge fabriquées avec ces loupes et témoignant d'une excellente qualité du fer; nous citerons une barre carrée pesant 655 kilogrammes, un grand piston à vapeur de 590 kilogrammes, une roue en fer, une plaque emboutie pour fond de boîte à feu de locomotive, des manivelles avec leur manneton, de petits pistons, puis des brames pesant 700 à 850 kilogrammes, épaisses de 20 à 25 centimètres, et parmi elles une plaque fabriquée au marteau avec nervure médiane. Malheureusement aucune cassure ne permettait d'apprécier le grain et la qualité du métal.

Une usine des environs de Newcastle, celle de Consett, emploie depuis deux ans environ un procédé analogue pour fabriquer des grosses tôles de construction sans misage et sans étirage préalable du fer en barres ébauchées. Dans ce procédé, qu'on y a dénommé *procédé Ratcliffe*, on sort le fer du four à puddler pendant qu'il est encore jeune, c'est-à-dire incomplétement décarburé et épuré; on cingle une première boule rapidement et, quand elle a été débarrassée des scories et mise sous forme d'une sorte de gâteau reposant sur l'enclume du marteau pilon, on vient poser dessus une seconde boule qu'on cingle d'abord doucement, puis plus rapidement. La matière de cette deuxième boule semble pénétrer celle de la première, qui se gonfle à nouveau et subit un vrai ressuage. On superpose une troisième boule, une quatrième et même plus encore, jusqu'à ce qu'on ait ob-

Digitized by Google

tenu un bloom total ayant le poids nécessité par la feuille de tôle qu'il s'agit de produire, poids que l'on constate au moyen d'une balance accolée au pilon. On porte ce bloom au four à réchauffer sans le laisser refroidir ; on lui donne une demi-chaude et on le dégrossit pour tôle. On le termine ensuite, toujours sans le laisser refroidir. En fort peu de temps les boules du puddlage se trouvent transformées en une feuille de tôle finie, de bonne qualité, pour construction. Les usines de Consett livrent ces tôles aux constructeurs de navires de Newcastle ou de Hollande. D'après des essais faits par M. Kirkaldy et rapportés par *the Engineer*, ces tôles donneraient les résultats moyens suivants :

Charge par millim. carré à la limite d'élasticité . . .	40 kil.
— — à la rupture.	50 —
Différence de la section de rupture avec la section primitive	17,7 %
Allongement à la rupture.	9,2 %
Aspect de la cassure : fibreuse avec 3 à 5 % de grain.	

On nous rapporte que maintenant (1870) les usines de Consett, à la suite de nombreux rebuts, auraient été obligées de renoncer au procédé Ratcliffe.

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE

FABRICATION DE L'ACIER

Le travail que nous rédigeons n'étant pas un cours de métallurgie, mais seulement l'exposé de l'état actuel de l'industrie du fer, nous pourrions nous dispenser d'expliquer plus ou moins dogmatiquement ce que, pour notre compte, nous entendons dénommer *acier*. Beaucoup de nos lecteurs ont sans doute connaissance des nombreuses dissertations auxquelles a déjà donné lieu la définition de ce métal. Leur résultat n'a point été de faire avancer l'industrie, mais plutôt d'enrayer le progrès en jetant dans l'esprit de ceux qui ont à employer l'acier des craintes plus ou moins vagues, plus ou moins déclarées, sur ses qualités réelles et sur la convenance de s'en servir en face de l'incertitude qui règne sur sa vraie nature. Nous avons entendu, par exemple, dans le sein de la Société des ingénieurs civils, des hommes éminents dire, les uns, que l'acier n'était surtout excellent que lorsqu'il était ramené à n'être que du bon fer; d'autres, que l'acier était une drogue de composition inconnue et qu'on ne pouvait accepter une pièce de ce métal que sous condition de la rendre au fabricant si elle ne fournissait pas les services attendus. M. le général Morin déclarait que, selon lui, une objection grave à l'emploi de l'acier, est qu'on n'est jamais sûr de sa fabrication. Un ingénieur distingué d'une compagnie de chemin de fer se plaignait de la diversité qui existe entre la nature, les propriétés, la qualité des différentes espèces d'acier.

Nous ne comprenons réellement pas ces critiques. La diversité des qualités n'est pas plus considérable pour les aciers que pour les fers ou les fontes. Il y a au moins autant de distance entre la fonte blanche miroitante de Prusse (*spie-*

Digitized by Google

geleisen) et la fonte noire d'Ecosse, entre un fil de fer à cardes fabriqué avec une billette de Suède et un rail fabriqué avec des fers tendres de la Moselle, qu'entre un acier à filières et un acier à canons, entre un acier fondu Huntsman et un acier puddlé de Saint-Etienne. Et, du reste, quel est le fabricant de tissus qui refuserait d'employer le coton parce que les Georgie longue soie et les Surate ou Pondichéry ont des qualités différentes? Pourquoi alors ne pas refuser aussi d'employer les bois dans l'industrie? Ils sont bien plus variés encore de qualité que les aciers. Il suffit de citer le peuplier et le chêne, le sapin et le teck, le tilleul et l'acajou, et de rappeler les différences qui existent pour une même essence dans les diverses provenances. Le charron, le menuisier, l'ébéniste considèrent comme une partie fondamentale de leur profession, la connaissance de leurs matériaux. Il est facheux que ceux qui emploient l'acier et le fer n'aient pas encore fait disparaître toute obscurité sur leurs qualités respectives et relatives. Les fers sont aussi variés que les aciers; il est temps que les expérimentateurs pour la résistance des matériaux ne nous donnent plus des chiffres relatifs à des métaux parfaitement anonymes dont ils n'ont pas vérifié les procédés de fabrication et les matières premières ou la composition. Les Anglais et les Suédois nous ont déjà devancés sous ce rapport, quoi qu'on en dise ; pour le prouver, il suffit de citer les beaux travaux de M. David Kirkaldy et de M. Knut Styffe. Le progrès pousse à la spécialisation des produits : telle forge qui ne pouvait vendre autrefois ses fers parce qu'ils étaient cassants à froid et tendres à chaud, les voit rechercher pour la fabrication des rails; telle usine qui ne fabriquait qu'une seule espèce de fer a appris à en fabriquer cinq ou six pour fournir à des besoins de diverses natures. La variété des procédés de fabrication et des provenances de matières premières et l'application de chaque qualité au but spécial qu'on se propose sont devenues les nécessités du progrès. On serait donc peu rationnel actuellement en reprochant aux aciers la diversité de leurs origines et de leurs qualités. Seulement il ne faut

Digitized by Google

point, comme on l'a fait quelquefois, essayer des fabrications de réussite impossible en voulant obtenir, au moyen des recettes de tel ou tel inventeur, avec des matières premières d'origine inconnue et variable, un produit homogène, régulier et comparable à ceux des usines qui fabriquent en connaissance de cause.

On donne ordinairement le nom d'*acier* à tout métal intermédiaire entre la fonte et le fer, c'est-à-dire provenant soit d'un affinage incomplet de la fonte, soit d'une carburation du fer, lorsqu'il peut durcir par la trempe, tout en étant malléable à chaud et à froid avant cette trempe. M. Goldenberg, l'un des membres du jury international de 1867, dit dans son rapport : « En pratique, on qualifie d'*acier* le métal plus ou moins ductile qui, obtenu par l'affinage et le corroyage des fontes de fer, est susceptible de prendre la *trempe*, c'est-à-dire de devenir *dur* et *cassant*, lorsque, après avoir été chauffé au rouge, il est refroidi brusquement par immersion dans un liquide réfrigérant. Un métal obtenu avec les mêmes minerais ou fontes de fer qui ne prend pas la trempe est classé comme fer. » Cette définition, si elle est pratique, est peu philosophique. Elle a aussi l'inconvénient d'embrasser des métaux de propriétés trop essentiellement différentes, comme l'acier puddlé et l'acier fin au creuset, par exemple. C'est cependant celle que nous adoptons en intitulant cette partie de notre travail : *Fabrication de l'acier*.

Il est plus scientifique de définir l'acier, comme on l'a fait aussi, un alliage simple ou multiple de carbone, ou de silicium, ou de bore ou d'azote ou de phosphore avec le fer ; mais cette définition, avec sa généralité, n'est plus ni pratique, ni vraie, puisque tous les aciers de l'industrie renferment du carbone et que même ce métalloïde est, avec le fer, le seul élément dont la présence soit constante et essentielle. Suffirait-il alors de dire : l'acier est un alliage de fer et de carbone ? Mais presque tous les fers du commerce renferment plus ou moins de carbone. La trempe même n'est pas un caractère suffisamment tranché, puisqu'on fabrique actuellement des aciers qui ne trempent presque pas.

Digitized by Google

Nous voudrions qu'on pût prendre l'habitude d'appeler *fers* tous les produits de fabrication qui n'ont pas subi de fusion, où les grains de fer ont pris nature et se sont solidifiés au milieu d'une scorie plus ou moins fluide, et qui sont en définitive des alliages plus ou moins hétérogènes de fer et de carbone. On appellerait alors *aciers* tous les produits qui ont été formés par fusion, où les grains de fer se sont formés par cristallisation d'une masse tout entière fluide, et qui sont des alliages homogènes de fer et de carbone. Les fers, comme les aciers, peuvent être plus ou moins *purs*, c'est-à-dire renfermer un plus ou moins grand nombre, une plus ou moins grande quantité d'autres métalloïdes que le carbone, d'autres métaux que le fer, qui viennent modifier leurs propriétés.

Les fontes blanches ne seraient alors que des aciers impurs. Lorsqu'on traite au haut fourneau en allure froide des minerais purs avec un combustible pur, la fonte blanche qu'on obtient est un véritable acier : l'acier sauvage (*wildstahl* de Styrie) qu'on emploie pour les filières dans nos tréfileries de l'Est est dans ce cas (voir Ire partie, p. 574). Les fontes grises ne seraient à leur tour que des mélanges d'aciers impurs avec une plus ou moins grande quantité de graphite.

Cette distinction des aciers et des fers suivant qu'il y a fusion ou non de l'alliage de fer et de carbone, présenterait, croyons-nous, des avantages sérieux pour la métallurgie pratique qui n'a pas seulement à se préoccuper de la composition chimique, mais aussi de la constitution moléculaire des métaux. Quoi qu'il en soit, nous ne pouvons ici l'adopter, et nous comprendrons sous la désignation d'*acier* tous les alliages de fer et de carbone qui rentrent dans la définition ordinairement admise.

Dans la fabrication des aciers, il faut considérer deux parties bien distinctes : l'*obtention de l'acier brut* ou *l'aciération* et le *raffinage* ou le *finissage de l'acier*.

Les aciers s'obtiennent par bien des procédés différents, qu'il serait trop long et oiseux d'énumérer ici. En ne nous

Digitized by Google

occupant que de ceux qui sont actuellement en usage ou qui ont attiré récemment l'attention, on peut les distinguer suivant qu'ils emploient comme matière première le minerai, la fonte ou le fer.

1° *Procédés dans lesquels l'acier est produit par la réduction des minerais et la carburation immédiate du fer réduit.*

a. En une seule opération. — Procédé Catalan.

b. En deux opérations dont une fusion. — Procédé Chenot.

2° *Procédés dans lesquels l'acier est produit par la réaction des minerais ou des oxydes de fer sur la fonte.*

c. Au creuset. — Procédés Uchatius, de Rostaing.

d. Au four à réverbère. — Procédé Siemens-Martin.

3° *Procédés dans lesquels l'acier est produit par l'affinage incomplet de la fonte.*

e. Affinage au bas foyer. — Procédés rivois, carinthien, styrien, etc.

f. Affinage au four à réverbère ou puddlage pour acier.

g. Affinage par insufflation d'air. — Procédé Bessemer.

h. Affinage par insufflation d'air et de gaz. — Procédé Bérard.

i. Affinage par la vapeur d'eau. — Procédé Galy-Cazalat.

k. Affinage par les azotates. — Procédé Heaton.

4° *Procédés dans lesquels l'acier est produit par la réaction de la fonte sur le fer.*

l. Au creuset. — Procédé de Réaumur.

n. Au cubilot. — Procédé Micolon.

m. Au four à réverbère. — Procédé Martin-Siemens.

5° *Procédés dans lesquels l'acier est fabriqué par la carburation du fer.*

n. Dans des caisses. — Procédé du Yorkshire.

o. Dans des creusets. — Procédé des aciers de fusion.

p. Dans des cubilots. — Procédé Parry.

Les procédés Chenot, Uchatius, Martin-Siemens, Bessemer, Bérard, Réaumur, des aciers de fusion, Parry, donnent des aciers fondus ; les autres donnent des aciers agglomérés,

Digitized by Google

sauf celui du Yorkshire qui transforme les barres de fer en acier sans changer beaucoup leur apparence extérieure.

Certains de ces procédés donnent des produits assez homogènes pour qu'on puisse les employer de suite; mais lorsqu'on veut des produits supérieurs, il faut raffiner les produits bruts, c'est-à-dire les *corroyer* ou les *fondre*. Le raffinage, en effet, s'effectue toujours par l'une de ces deux méthodes : le *corroyage* ou la *fusion*. Les aciers du Yorkshire, par exemple, comme les aciers obtenus au bas foyer ou au puddlage ne peuvent s'employer sans corroyage ou fusion préalable.

Pour passer en revue l'industrie de l'acier, nous examinerons d'abord les fabrications au creuset, puis les fabrications au bas foyer et au four à réverbère, puis le procédé Bessemer, et enfin les quelques procédés qui ne rentrent pas dans ces trois catégories, comme ceux de Galy-Cazalat, Heaton, Parry, etc.

CHAPITRE PREMIER

FABRICATION DE L'ACIER FONDU AU CREUSET.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur la fabrication.

Préliminaires. — On sait que la fabrication de l'acier fondu au creuset consiste à faire fondre en vases clos, soit de l'acier déjà formé par la cémentation ou autrement, soit des matières propres à engendrer de l'acier par leur réaction, comme de la fonte et du fer, du fer et des matières carburantes, de la fonte et de l'oxyde de fer. On opère à l'abri de l'air à une très-haute température, et on obtient l'acier à l'état liquide prêt à être coulé dans des lingotières ou dans des moules. Comme cette fabrication est moins connue que celles de la fonte ou du fer, nous entrerons dans quelques détails d'après nos observations dans des aciéries françaises et étrangères.

La carburation du fer par cémentation est une opération

Digitized by Google

employée depuis fort longtemps sans qu'on puisse dire quel en a été l'inventeur ou la date de l'invention. En 1722, Réaumur la décrivait déjà dans son célèbre ouvrage sur l'acier. La fusion de l'acier est au contraire une invention relativement récente et due à un petit mécanicien quaker du village de Handsworth, près Sheffield, Benjamin Huntsman, qui, en 1740, établit dans cet endroit la première fonderie d'acier. En 1770, il transporta son usine à Attercliffe, plus près de Sheffield, et depuis cette date son procédé de fusion, découvert par des concurrents, s'est répandu dans tous les pays sidérurgistes.

Cémentation. — La cémentation s'opère toujours comme M. Leplay l'a décrit dans son mémoire si connu sur les aciéries du Yorkshire. Ni les matières employées pour la cémentation, ni les fours à caisses, ni leur mode de chauffage n'ont changé. Le cément est toujours essentiellement du charbon de bois de chêne. Les fers soumis à la cémentation sont, en France comme en Angleterre ou en Allemagne, lorsqu'on veut des aciers fins de première qualité, des fers de Suède provenant de l'affinage des fontes de Danemora; on emploie aussi un grand nombre d'autres marques de fers de Suède et de fers de Russie (Oural). En France, pour des produits de qualité un peu moindre, on cémente des fers provenant de l'affinage au charbon de bois des fontes des Pyrénées (Ria, Pamiers) ou de Corse (Toga), et même pour des produits ordinaires des fers provenant du puddlage de fontes pures au coke ou au bois, fers qu'on emploie soit bruts soit corroyés. Quelquefois on se sert de la cémentation pour augmenter la carburation et la dureté d'aciers naturels puddlés. En Angleterre, dans les aciéries de Sheffield, outre les fers de Suède et de Russie, on emploie aussi des fers fabriqués sur place soit en puddlant des fontes de Suède, de Norwége ou de la Nouvelle-Ecosse, soit en puddlant des mélanges de fontes anglaises finées et de fontes étrangères.

Les meilleurs fers de Danemora employés pour la cémentation n'ont pas toujours une texture complétement homogène; ils présentent souvent au milieu d'un beau grain ré-

Digitized by Google

gulier quelques parties nerveuses qui indiquent une inégale dureté.

On sait que le fer ne peut absorber par la cémentation à une température inférieure à celle de sa fusion qu'une quantité de carbone limitée, la limite paraissant être voisine de 1,75 pour 100. L'opération se conduit d'une façon un peu différente, lorsque les aciers cémentés qu'on veut fabriquer sont destinés au corroyage ou sont destinés à la fusion. Pour ces derniers, à moins qu'il ne s'agisse de qualités tout à fait de choix, on ne s'occupe pas autant de l'homogénéité de la carburation dans la barre ou même dans l'ensemble d'un chargement, puisque le choisissage et la fusion subséquente doivent assurer l'homogénéité du produit. On chauffe seulement à la température convenable, comprise entre le rouge cerise et le rouge blanc, et on maintient d'autant plus longtemps cette température qu'on veut obtenir un acier plus carburé et plus dur. Malgré les précautions qu'on prend pour uniformiser le chauffage, les barres voisines du fond des caisses se cémentent plus que celles du haut. Lorsque le fer a pris la dose de carbone maximum, si on le maintient à la haute température, la carburation qui a commencé par la surface s'uniformise dans toute la section des barres. Aussi pour les barres cémentées qui ne doivent pas subir de fusion, on maintient la haute température constante quelques jours de plus ; mais comme ces aciers à corroyer ne doivent pas être trop carburés, on diminue la vivacité du cément en le mélangeant avec du vieux cément épuisé, ou avec des matières inertes comme le sable ; on emploie aussi du cément plus frais pour le haut de la caisse que pour le fond qui est exposé à la plus haute température.

Le chauffage est effectué au moyen de foyers à grille où l'on brûle de la houille ; il doit être surveillé attentivement afin qu'on n'arrive pas à la température de fusion des barres qui alors se transformeraient en fonte qui coulerait par les joints des briques. On a essayé sans grand succès de chauffer les caisses au moyen des gaz des hauts fourneaux ou au moyen des flammes perdues de fours à réchauffer. D'après

Digitized by Google

la pratique d'une grande aciérie française, on consomme pour la cémentation de 1000 kilogrammes de fer, 1450 à 1460 kilogrammes de houille et 660 à 665 kilogrammes de charbon de bois (moyenne de six mois de travail en toutes qualités). En Angleterre, avec des houilles de qualité meilleure, la consommation de combustible est moindre : dans les grandes usines de Sheffield les fours sont disposés de façon à n'avoir dans les ateliers que les orifices de chargement des caisses ; le service des foyers est fait par des galeries souterraines.

Le chauffage prolongé dans les caisses de cémentation produit dans la texture du fer un changement considérable. Lorsqu'on sort les barres, elles sont devenues très-fragiles, et leur cassure présente des facettes cristallines d'autant plus grandes que le métal est plus carburé, ou qu'il est resté plus longtemps en chauffage, ce qui revient à peu près au même. La couleur a aussi changé ; au lieu du gris blanc brillant des grains du fer doux, les facettes présentent un lustre gris bleuâtre et paraissent un peu poussiéreuses. La dureté à froid et la malléabilité à chaud primitives du fer n'ont pas beaucoup changé. Mais si on trempe la barre dans l'eau froide après l'avoir préalablement réchauffée, elle change encore d'aspect : sa cassure devient grenue, brillante ; sa dureté augmente ; on reconnaît l'acier.

La surface des barres, d'unie qu'elle était, s'est couverte d'ampoules plus ou moins grosses, plus ou moins nombreuses qui font quelquefois donner au fer cémenté le nom d'*acier poule* (*blister steel* des Anglais). Ces ampoules paraissent tenir à la pénétration des gaz qui forment l'atmosphère des caisses dans les petites solutions de continuité qui peuvent se trouver au voisinage des surfaces dans la barre de fer ; ces gaz, comme on le sait par les expériences de M. Cailletet, y prennent une tension suffisante pour distendre les parois de leur logement et produire ces ampoules. Si elles sont trop grosses ou trop nombreuses, elles indiquent un fer mal soudé. Pour fabriquer des aciers fondus de tout pre-

Digitized by Google

mier choix, on fait bien de choisir les fragments de barres cémentées qui ne présentent pas d'ampoules.

Au sortir des caisses, on procède à l'examen de la cassure de toutes les barres, et au choisissage, c'est-à-dire à la classification de chaque nature de fer cémenté en un plus ou moins grand nombre de numéros d'après la grosseur des facettes qui indique la dureté. Dans une aciérie qui fabrique toutes les espèces d'aciers du commerce, on peut avoir jusqu'à cent catégories différentes d'aciers cémentés. Il faut avoir soin pendant ce choisissage de mettre de côté les *fers touchés*, c'est-à-dire qui ont senti l'air par suite de fissures dans les caisses ou dans les couvertes ; ils se reconnaissent à une pellicule ou liséré très-brillant de fer brûlé dans la cassure ; on les emploie dans les qualités inférieures ou bien on les cémente de nouveau. On doit aussi séparer les *grains blancs* ou barres qui présentent dans leur cassure des grains de couleur blanc jaunâtre tranchant sur le gris bleuâtre des facettes ; ce sont des points où le fer était mal affiné ou fonteux. Les grains blancs se rencontrent rarement dans les bonnes marques de Suède. On les fait passer dans les qualités ordinaires. Un fait important à connaître est que le grain blanc se perpétue dans toutes les élaborations que subit l'acier, même après fusion au creuset, ce qui prouve que cette dernière opération ne rétablit pas aussi complétement l'homogénéité qu'on pourrait le croire. Les défauts de texture ou de soudage des barres de fer primitives se retrouvent sous une autre forme dans les lingots qui en proviennent. Aussi pour les aciers tout à fait supérieurs, on ne peut employer que des barres de fer parfaitement affinées et étirées au marteau, et cémentées aussi homogénement que le permet l'habileté des chargeurs de caisses et des chauffeurs. Les fabricants repoussent pour ces aciers supérieurs, même des fers de Suède première marque qui ont été laminés, au lieu d'être étirés au marteau. Ce sont là des faits reconnus et justifiés par la longue pratique des fabricants d'aciers et sur lesquels la science n'a pas encore donné d'explication complète.

Digitized by Google

Fusion au creuset. — On fond l'acier dans des creusets de diverses natures et de diverses dimensions. Lorsqu'on ne craint pas un léger changement dans le degré de carburation et de dureté du métal correspondant au dosage introduit dans le creuset, on peut prendre celui-ci en plombagine. Les creusets de plombagine, dont on voyait de beaux spécimens à l'Exposition de 1867, surtout dans l'exposition de la fabrique de Battersea (*Patent Plumbago Crucible Company*, brevet *Morgan*) présentent le grand avantage de résister à un beaucoup plus grand nombre de fusions que les creusets fabriqués complétement en argile réfractaire même de première qualité. Cette usine exposait des creusets ayant supporté 10 à 17 fusions, tandis que ceux en argile réfractaire, même de Stourbridge, peuvent difficilement servir pour plus de 3 à 4 fusions. Mais à Sheffield, comme en France, on redoute l'action carburante de la plombagine qui rend les fusions incertaines au point de vue de la dureté, et on ne l'emploie que pour les aciers fondus qui sont employés sans trempe. On assure toutefois que l'aciérie de M. Krupp, à Essen, fait une grande consommation de creusets de cette matière.

Le chauffage des creusets à fondre l'acier s'effectue surtout au moyen du coke dans des fourneaux dits *à vent*, qui contiennent deux ou quatre creusets. En Angleterre on n'emploie guère que des fours à deux creusets : le chauffage est plus vif ; on obtient une fusion plus chaude ; mais on brûle jusqu'à 4 000 kilogrammes de coke pour fondre 1 000 kilogrammes d'acier. Avec les fours à quatre creusets qu'on emploie dans quelques aciéries françaises, à Assailly, à Lorette, par exemple, la consommation de combustible est moindre ; elle descend quelquefois jusqu'à 2 500 kilogrammes de coke, mais le travail est plus pénible et les fusions moins chaudes. Chez MM. Petin, Gaudet et Cᵉ, on emploie aussi un système particulier de chauffage, le *système Ballefin*, dans lequel neuf creusets placés sur une sole réfractaire sont chauffés par la flamme d'un foyer à houille soufflé. Dans cette fusion à la houille, on brûle environ

Digitized by Google

3 333 kilogrammes de combustible par 1 000 kilogrammes d'acier ; lescreusets moulés un peu plus épais peuvent supporter 4 ou 5 fusions. Toutefois ce système n'a pas détrôné la fusion au coke qui donne une plus grande régularité de travail, une chaleur plus vive, un acier plus homogène. La fusion à la houille n'a point de chances de développement, malgré l'économie de combustible qu'elle procure et une certaine facilité de travail, surtout depuis l'invention des procédés de fusion au four à réverbère. Dans quelques usines on chauffe des chaudières à vapeur avec les flammes perdues des fours à fondre l'acier ; avec 6 fours au coke à quatre creusets, on obtient 25 chevaux ; avec 2 fours à la houille à neuf creusets, on obtient 40 chevaux.

On emploie beaucoup, depuis quelques années, le *système Siemens* au chauffage des fours de fusion. On voyait en 1867, à Firminy chez MM. Verdié et C°, 2 fours à vingt creusets chacun (ils ont été remplacés par des fours Martin). En Allemagne, dans les usines de Styrie, on chauffe des creusets avec les gaz provenant de générateurs alimentés de lignite ; dans celles de Westphalie on fait un grand usage du système Siemens. En Angleterre, nous avons vu en 1869, dans la magnifique fonderie de MM. Vickers fils et C°, un grand nombre de creusets chauffés par le système Siemens ; huit générateurs desservaient ces fours de fusion au gaz, qui sont intercalés entre les rangées de fours de fusion au coke.

Les barres de fer doux ou cémenté qui sont destinées à la fusion, sont cassées ou coupées à la cisaille en petits fragments (carrés, pour l'acier cémenté, triangulaires, pour le fer doux). Les dosages pour fusion s'obtiennent, soit en prenant l'acier cémenté de dureté correspondante à celle qu'on veut obtenir, soit en moyennant des duretés différentes, mais sans les prendre trop écartées, parce qu'alors le mélange ne serait pas homogène. Pour fabriquer les aciers les plus durs, comme l'acier pour filières, il faut ajouter du charbon de bois avec l'acier cémenté le plus dur, qui n'est pas encore assez carburé pour cet usage. Quelquefois on ajoute un peu de wolfram en poudre fine, ce qui donne

Digitized by Google

les aciers dits *au tungstène*, ou bien des minerais de fer arénacés titanifères, préalablement réduits au creuset brasqué, ce qui donne les *aciers titaniques*. D'autres fois on fond directement des aciers puddlés ou même des fers sans cémentation, généralement avec addition de charbon de bois et de bioxyde de manganèse : cette dernière substance sert de fondant et d'épurant. On a toujours soin de nettoyer parfaitement les morceaux de fer ou d'acier, afin qu'ils ne présentent aucune trace d'oxyde. Les aciers de fusion se font encore en liquéfiant dans le même creuset un mélange de fer et de fonte, selon la méthode de Réaumur, mais on ne peut employer des fontes grises ou contenant du silicium parce que les creusets sont alors attaqués et rongés, de telle sorte que lorsqu'on veut les arracher du feu, la partie pleine reste dans le fourneau et il ne vient que le bord qui a été tranché au niveau du bain de métal. On emploie des fontes blanches miroitantes très-pures, qui ne renferment pas un quart pour 100 de silicium. La majeure partie des aciers de fusion de M. Krupp sont, dit-on, fabriqués par ce procédé. Tous ces aciers de fusion, fabriqués sans cémentation, ne sont guère employés que pour la confection de grosses pièces, et non pour celle d'aciers fins à outils ; ils ne présentent jamais la même homogénéité que ceux qui proviennent de fers ayant passé par les caisses de cémentation.

A l'Exposition de Londres, en 1862, on a beaucoup remarqué un métal appelé *métal homogène*, fabriqué par MM. Shortridge, Howell et C°, de Sheffield, qui provenait, dit-on, de la fusion de fer doux avec des matières charbonneuses; c'était un acier fondu doux, peu carburé et ne prenant pas la trempe, analogue aux aciers que depuis cette date on a appris à fabriquer en grandes masses.

Certains industriels français et anglais fabriquent des aciers fondus en repassant au creuset soit des riblons d'acier, provenant des grandes villes, en mélange avec des matières qui les empêchent de se décarburer ou qui les recarburent au besoin, comme des wolframs préalablement réduits, des oxydes de manganèse, soit même des riblons de fer mêlés

Digitized by Google

avec des fontes très-carburées et très-manganésifères ou avec des substances charbonneuses et des oxydes de manganèse.

La nature des lits de fusion qu'on charge dans les creusets est, comme on voit, très-variée. La plupart des fabricants ont des recettes que l'expérience leur a appris donner les qualités d'acier fondu dont ils ont besoin, et ils ne peuvent naturellement pas les livrer à la publicité.

Lorsque le métal est parfaitement fluide, on arrache les creusets du fourneau et on les vide dans des lingotières en fonte. Aussitôt que la lingotière est pleine, on pose sur la surface de l'acier un bouchon en tôle, puis dessus on place une couche de sable qu'on serre avec une plaque de tôle et des coins, afin que l'acier puisse se solidifier à l'abri du contact de l'air et sans rochage.

Étirage des aciers fondus en barres. — Les creusets en Angleterre renferment maintenant quelquefois jusqu'à 45 kilogrammes d'acier chacun. Dans nos usines françaises, les creusets neufs contiennent 23 kilogrammes environ pour la fusion au coke et 25 kilogrammes environ pour la fusion à la houille. Pour les aciers marchands en barres, on fait ordinairement des lingots de deux creusets, soit 44 à 48 kilogrammes; quelquefois des lingots de quatre creusets pour des barres plus considérables.

La première opération à laquelle on soumet ces lingots est le *burinage*, dans lequel on leur enlève toutes les bavures ou gouttes froides qui se sont produites, ainsi que toutes les pailles, trous, etc., que l'on peut apercevoir; après quoi on procède au *ressuage* des lingots, qui consiste à les porter à la chaleur soudante et à les serrer au marteau. Pour l'acier en barres, le réchauffage se fait dans un four de chaufferie soufflé au coke, en recouvrant le lingot d'une poudre de sable et de borax anhydre qui empêche la décarburation. On serre sous le marteau pilon presque sans étirer et on transforme le lingot en un lingot ressué qui a la forme d'une barre carrée de 8 centimètres de côté. Puis on réchauffe de nouveau à la chaleur rouge, dans un four à

Digitized by Google

houille soufflé; et on lamine en *bidon* ou barre carrée de 3 à 5 centimètres de côté, suivant les dimensions des barres finies qu'on veut obtenir. C'est dans ces bidons qu'on prend les fragments du poids correspondant à la barre qu'on veut obtenir. On les burine soigneusement; on les réchauffe au rouge seulement et on les étire à la dimension voulue, soit au martinet, soit au laminoir. Les aciers supérieurs s'étirent complétement au martinet; pour d'autres emplois, au contraire, on étire complétement au laminoir; enfin, dans beaucoup de cas, on fait des aciers *repassés*, c'est-à-dire qu'on amène presque à dimension par le laminage et qu'on finit par le martelage.

Pour les gros lingots, on réchauffe dans des fours à réverbère analogues à ceux des usines à fer, en ayant soin de ménager le feu et de couvrir le lingot avec la poudre de sable et borax.

L'étirage au marteau se fait soit avec des martinets ou marteaux oscillants à queue plus ou moins lourds, et donnant quelquefois jusqu'à trois cent cinquante coups par minute; soit avec des martinets à cames, comme ceux de M. Schmerber, dont nous parlerons plus tard, soit avec des marteaux pilons à grande vitesse comme ceux du système Davy frères de Sheffield. Les martinets oscillants, à manche de bois, sont encore les plus employés, et ceux dont on est le plus satisfait.

L'étirage au laminoir s'effectue avec des trains de diverses dimensions : on distingue, comme pour le fer, des gros mills, des petits mills et des moyens mills. Les limes, les lames de sabres, les aciers pour coutellerie, s'étirent généralement par ce moyen. Les canons de fusil s'étirent au marteau.

Dans une aciérie qui fabrique tous les aciers du commerce, on a forcément en magasin et prets à passer dans la fabrication, un nombre considérable d'espèces différentes de bidons qui sont catalogués d'après la nature des fers livrés à la cémentation ou à la fusion, d'après le degré de dureté, d'après les dimensions. Il faut un ordre parfait dans cette partie de l'usine, comme dans le carnet du chef de fabrica-

Digitized by Google

tion. La dureté des bidons se reconnaît à leur grain qui est d'autant plus fin que la dureté est plus grande. Les aciers très-doux, comme ceux employés pour canons de fusil, se distinguent par une ligne blanche formant liséré de la cassure, c'est un commencement de nerf, en quelque sorte, qui se distingue de la masse grenue de la cassure.

Quelquefois les bidons sont *veinés* ou *rosés*, c'est-à-dire qu'ils présentent une veine ou fissure plus ou moins profonde, quoique souvent presque imperceptible ; lorsqu'on casse l'acier suivant une veine, on y trouve un tache irisée qui montre que l'air a pénétré pour oxyder malgré l'imperceptibilité de la fissure. Il faut avoir soin au burinage de creuser l'acier pour enlever toute trace de veine, fissure ou rose.

Quand l'acier, au sortir des caisses de cémentation, présentait du *grain blanc,* on le retrouve encore dans les bidons, et même dans les aciers finis qui se font avec ces bidons. Les soufflures des lingots produisent souvent des veines dans l'acier étiré : quelquefois, pour les faire disparaître, on fend l'acier en long, précisément dans le sens de cette veine.

DEUXIÈME SECTION

France.

Après la publication du livre de Réaumur, en 1722, il se créa en France plusieurs fabriques ayant pour but de fabriquer de l'acier par fusion de la fonte avec le fer : celle de Cosne d'abord, plus tard celle d'Amboise et d'autres encore ; mais ces établissements, dirigés dans une voie malheureuse, celle de la fabrication de l'acier avec des fers indigènes presque quelconques, ne subsistèrent pas longtemps. Après la chute de l'empire, aucune usine ne fabriquait des aciers fondus. C'est vers 1816 qu'un industriel anglais, M. Jackson, vint s'établir avec ses quatre fils dans le département de la Loire, à Trablaine, près Cotatay, et essaya d'y fabriquer de

Digitized by Google

l'acier par la méthode du Yorkshire ; après un assez long apprentissage, et après bien des vicissitudes souvent pénibles, MM. Jackson réussirent enfin à fournir des produits équivalents à ceux des aciéries anglaises. A peu près à la même date, l'usine de la Bérardière, près Saint-Etienne, d'abord fondée (en 1816) pour fabriquer des aciers indigènes, avec les fers des Alpes, s'était mise aussi à fabriquer des aciers fondus avec des fers de Suède. En 1837, MM. Jackson avaient réuni entre leurs mains l'aciérie de la Bérardière, celle d'Assailly et le martinet de Roche-Taillée. Depuis cette époque l'industrie des aciers n'a cessé de progresser autour de Saint-Etienne; après MM. Jackson, vinrent MM. Holtzer qui fondèrent les aciéries de Cotatay et d'Unieux (M. Jean Holtzer, le premier venu dans le pays, était un contrôleur de la manufacture d'armes de Mutzig, qui travailla longtemps à la Bérardière), puis la plupart des fabricants d'aciers actuels.

Actuellement les plus importantes aciéries françaises sont toujours situées sur le bassin houiller de la Loire, aux environs de la ville de Saint-Etienne.

MM. Petin, Gaudet et Cᵉ fabriquent des aciers fondus au creuset dans leurs usines jumelles d'*Assailly* et *Lorette,* qui ont été fondées autrefois par MM. Jackson. Sans parler du matériel spécial à l'acier Bessemer, ces usines comprennent 15 fours de cémentation à deux caisses, pouvant convertir, en une seule opération, chacun depuis 15 jusqu'à 22 tonnes de fer, une grande fonderie, partie à la houille, partie au coke, utilisant 500 creusets et pouvant fondre 10 à 12 tonnes d'acier à la fois, 14 marteaux pilons, employés soit au ressuage, soit au finissage des aciers, avec les fours de chaufferie nécessaires, plusieurs martinets pour l'étirage ou le repassage, un train pour tôle d'acier, trois trains de laminoirs pour étirage, puis les ateliers nécessaires pour la fabrication des ressorts, des canons de fusil, le moulage des aciers, etc. Les usines d'Assailly et Lorette emploient une force motrice de 600 chevaux et elles occupent 1 000 ouvriers environ. Elles produisent toutes les qualités d'aciers fondus ou cor-

Digitized by Google

royés, demandées par le commerce : aciers pour outils divers, pour quincaillerie, pour molettes, pour limes, pour sabres, pour scies, pour broches de filature, pour ailettes de filature, pour coutellerie, pour coins de monnayage, pour cuirasses, pour filières, acier soudable, etc. Elles exposaient en 1867 leurs plus belles marques comme acier pour coins de monnayage, acier fondu *double croix d'honneur*, acier fondu qualité faulx, acier fondu pour scies, tôle pour cuirasses, etc., sans parler des canons et pièces diverses de fusil Chassepot, des lames de sabre et d'épée, des baïonnettes et sabres-baïonnettes, cuirasses, etc.

Les *aciéries d'Unieux*, près Firminy, appartenant à *MM. Jacob Holtzer et Ce*, ont la spécialité des aciers supérieurs pour outils, fabrication dans laquelle aucun de leurs concurrents ne leur est supérieur. Elles comprennent des fours de cémentation, une fonderie utilisant 200 creusets environ pour les aciers en barres, sans compter les ateliers pour les aciers moulés, et produisent par an environ 1 800 tonnes d'aciers fondus. Nous ne parlons pas des ateliers de puddlage et de corroyage. MM. Holtzer et Ce exposaient en 1867 des lingots d'acier de toute dimension, des aciers fondus pour limes, pour matrices, pour tarauds, pour outils, tous marqués *à la cloche*.

Les *aciéries et forges de Firminy* (ancienne Société F. Verdié et Ce) comprennent encore 4 fours de cémentation qui servent aussi pour la récarburation des aciers puddlés trop doux et une fonderie à creusets au coke ; mais on y fond surtout l'acier dans les fours Martin Siemens. Avant 1867, la fonderie comprenait 90 fours à fondre au coke, circulaires et à 4 creusets chacun, et, en outre, 4 fours à fondre au gaz, système Siemens, à 20 creusets chacun. Ces quatre derniers fours produisaient ensemble 10 000 kilogrammes d'acier fondu en vingt-quatre heures en consommant environ 1 500 kilogrammes de houille menue, dit-on, pour fondre 1 000 kilogrammes d'acier, au lieu de 2 750 kilogrammes de coke environ dans les fours à 4 creusets ; en outre les creusets supportaient 6 fusions dans ces fours à gaz. Mais, mal-

Digitized by Google

gré l'économie considérable de ces derniers, on a encore trouvé avantage à les supprimer et à les remplacer par 4 fours Martin. Les aciéries de Firminy exposaient, en 1867, des aciers à outils divers, parmi lesquels on remarquait l'acier pour tarauds, en barres rondes, présentant un grain très-fin et très-dur sur toute une zone annulaire extérieure, et un grain plus ouvert et moins dur dans le centre de la barre, de façon à profiter ainsi de la plus grande ténacité des aciers doux.

MM. Limouzin frères, de Firminy, *MM. Bouvier fils et C*°, de Chambon-Feugerolles, avaient aussi exposé des aciers fondus.

L'*aciérie d'Imphy*, près Nevers, possède quelques fours de fusion à la houille pour les bocages du procédé Bessemer.

Dans le sud-ouest de la France, on trouve quelques aciéries moins importantes que celles de la Loire. L'*usine de Saint-Seurin-sur-l'Isle*, près de Coutras (Périgord), appartenait il y a quelques années, à MM. William Jackson et C°, héritiers des importateurs des procédés du Yorkshire, et qui ont eu encore l'honneur d'être les pionniers du procédé Bessemer en France; actuellement elle a beaucoup diminué d'importance. Elle fabriquait au creuset des aciers fondus provenant de fers de Suède cémentés, et comptait près de 200 creusets avec tout le matériel nécessaire pour la production des aciers à outils, à limes, pour armes blanches, ressorts, etc. Elle travaillait d'après les bonnes traditions de Sheffield. La *Société métallurgique de l'Ariége* possède des aciéries à Pamiers, où elle fabrique avec ses fers provenant des excellents minerais des Pyrénées, des aciers fondus au creuset, qu'elle cotait à 130 francs les 100 kilogrammes en 1867.

Les usines des Alpes (environs de Grenoble), qui fabriquent surtout des aciers naturels affinés au charbon de bois, produisent aussi quelques aciers fondus. Nous citerons les *aciéries du Guas*, près Rives, à MM. veuve Isidore Charvet et fils, et *celles de Bonpertuis*, à M. Alphonse Gourju.

Digitized by Google

Dans l'est, MM. de Dietrich et Ce fabriquent des aciers au creuset à leurs usines de *Jaegerthal*. MM. Irroy frères et Ce exposaient parmi les produits de leurs *aciéries de la Hutte* (Vosges) des aciers fondus de diverses espèces, cotés comme suit :

Aciers fondus, qualité supérieure pour matrices, soudables, etc.	190	francs.
Aciers fondus, première qualité, pour burins, outils de tours, tarauds, etc.	150	—
Aciers fondus pour coutellerie et outils.	125	—
— pour limes	95	—
— ordinaires pour tiges de piston et pièces de machines.	95	—

Dans le nord, MM. Despret frères fabriquent à leur *usine de Milourd-sur-Anor* des aciers cémentés et fondus au creuset, de qualité supérieure, provenant de fers de Suède, pour limes, outils et marteaux; ils avaient une exposition remarquable et s'annonçaient comme fournisseurs des arsenaux de l'artillerie et de la marine.

A Paris même, *M. Dalifol* a fondé, depuis 1867, une aciérie où il fabrique par cémentation et fusion des aciers de toutes les qualités, en concurrence avec les grandes usines de la Loire; comme il ne posède pas de laminoirs, tous ses aciers sont étirés au marteau pilon et au martinet à bascule.

Il existait autrefois aux *usines de Drambon* (Côte-d'Or) une aciérie comprenant un four de cémentation à une seule caisse et des fours de fusion à un seul creuset; mais elle est maintenant éteinte. C'est là qu'ont été faites les remarquables expériences de M. Cailletet sur la cémentation.

TROISIÈME SECTION

Grande-Bretagne.

Après l'invention due à Huntsman, la fabrication de l'acier fondu s'est rapidement développée autour de Sheffield, qui est située d'une façon particulièrement favorable à cette in-

Digitized by Google

dustrie. En communication fluviale avec Hull, port qui reçoit tous les fers de Suède et de Russie, sur un bassin houiller qui fournit des charbons très-purs, propres à la fabrication des cokes durs ou tendres, entourée de forêts qui fournissent le charbon de bois, à portée de gisements considérables de pierres et grès réfractaires, des excellentes argiles de Stourbridge, Stannington, Crawshaw-head, etc., la ville de Sheffield, qui, depuis plusieurs siècles déjà, était connue pour son industrie métallurgique, est devenue la vraie métropole des fabricants d'acier et d'objets d'acier. Il y a peu de localités civilisées où on ne rencontre des produits de l'industrie de Sheffield. On fabrique aussi des aciers fondus dans d'autres localités; mais les aciéries du Lancashire, des environs de Newcastle ou d'Écosse sont loin d'avoir l'importance de celles qui sont concentrées dans le Yorkshire.

On compte à Sheffield et autour de cette ville une dizaine de grandes usines et un grand nombre de petites. Le travail y est organisé d'une façon particulière. Certaines usines se livrent presque uniquement à la fusion et fabriquent des lingots ou des pièces moulées sans s'occuper du ressuage, de l'étirage ou du raffinage de l'acier. D'autres reçoivent des lingots ou des barres cémentées et les travaillent soit pour leur propre compte, soit à façon pour d'autres fabricants. On voit des usines, comme celle de MM. Vickers fils et C°, par exemple, qui n'ayant ni fours de cémentation, ni ateliers d'étirage, livrent cependant au commerce des aciers en barres de qualité supérieure provenant de la cémentation des meilleurs fers de Suède. La division intelligente du travail et la confraternité des fabricants d'aciers donnent une grande force à l'industrie de Sheffield.

MM. Vickers fils et C° (ancienne maison Naylor, Vickers et C°) comptent parmi les plus anciens fabricants de Sheffield. L'usine mère était située à Sheffield même; mais elle a été abandonnée et remplacée par une usine nouvelle située sur le Don, à Brightside, près Sheffield. Cet établissement (*River Don Works*) est la plus remarquable fonderie d'acier qui existe au monde : il ne le cède pas même aux aciéries

Digitized by Google

plus anciennes de M. Krupp, à Essen. Nous en donnerons un aperçu d'après une récente visite (1869) que nous y avons faite. L'usine comprend, en laissant de côté les dépendances dont nous ne nous occupons pas, tels que bureaux, magasins, ateliers de réparation, etc., cinq grands massifs de bâtiments disposés sur une même ligne faisant face au chemin de fer et séparés par des cours.

Le premier massif, à l'extrême gauche de l'entrée de l'usine, est destiné à la fabrication des creusets et à la préparation des dosages pour fusion. Les creusets formés avec un mélange comprenant une certaine proportion de plombagine, sont fabriqués mécaniquement à raison de mille par jour. Le séchage dure un mois et on les porte graduellement à une température de 100 degrés; le séchoir peut donc en contenir trente mille. On les fait de deux dimensions, savoir : pour 30 kilogrammes d'acier et pour 45 kilogrammes, et ils ne servent chacun que pour les trois fusions faites le même jour. L'atelier des dosages est une partie de l'usine sur laquelle nous ne pouvons donner beaucoup de renseignements. On y emploie surtout des fers en barres de diverses provenances, affinés ou puddlés, qui sont coupés au moyen de trois ou quatre cisailles doubles en bouts d'un quart ou d'un demi-kilogramme, puis nettoyés et décapés au moyen de tambours tournants; les jets, masselottes, pièces manquées, etc., de la fonderie d'acier doivent aussi rentrer dans les creusets. On ne se sert d'aciers cémentés que pour les dosages destinés aux aciers fondus en barres qui ne forment qu'une faible partie de la production de l'usine. La grande masse des aciers est fabriquée par la fusion au creuset de fers ou d'aciers puddlés en barres avec des spiegeleisen d'Allemagne.

Le bâtiment voisin est la fonderie d'acier; c'est une magnifique halle divisée en trois parties. Une travée médiane très-élevée, large de 12 mètres environ et longue de 50 mètres, contient les fosses pour la coulée des canons et des grosses pièces. De chaque côté sont cinq travées perpendiculaires de 10 mètres de largeur environ chacune, et longues

Digitized by Google

de 24 mètres environ, de sorte que la fonderie occupe en totalité une surface de 60 mètres sur 50 mètres environ. Toute la couverture repose sur les quatre murs et sur quatre paires de colonnes doubles disposées des deux côtés de la travée médiane. Les fourneaux de fusion au coke sont disposés en doubles rangées placées dans les entr'axes des travées latérales; chaque rangée étant de 24 fours, chaque double rangée de 48 fours est desservie par une cheminée traînante située au-dessous du sol de la fonderie et aboutissant à une grande cheminée carrée de 30 mètres de haut et 2^{m},10 de côté intérieurement placée sur le côté de la halle dans l'entr'axe des travées. En supposant l'installation achevée, il y a 8 grandes cheminées (quatre de chaque côté) et 384 fours à 2 creusets chacun. En outre on a construit transversalement des fours à 20 creusets chauffés au gaz, système Siemens, desservis par huit gazogènes placés en dehors de la fonderie. Tous ces fours s'ouvrent dans l'aire de la fonderie qui est élevée de plus de 2 mètres au-dessus du niveau des cours ; le service des fours se fait complétement par des passages en dessous qui servent à enlever les scories et escarbilles, à piquer au besoin les grilles et à amener l'air nécessaire à la combustion ; le tirage, bien réglé et très-actif, permet d'obtenir des températures suffisantes pour fondre les aciers les plus doux. Les wagons du chemin de fer chargés de coke arrivent de part et d'autre de la fonderie au niveau de l'ouverture des fours et se déchargent dans des appentis situés entre les grandes cheminées. Dans l'axe de chacune des trois travées du milieu se trouve une fosse pour la coulée des pièces ordinaires ; les moules portés sur des wagons y arrivent depuis les ateliers de moulage, et leurs orifices se trouvent un peu au-dessous du niveau de la fonderie ; on y coule toujours au moyen d'un ajustage garni de terre et d'une sorte d'entonnoir muni d'une bonde de fond fermée par une quenouille qu'on peut manœuvrer pour augmenter ou diminuer le jet. Quand on ne coule pas, toutes ces fosses sont recouvertes par des plaques de fonte quadrillées. Pour la coulée, les creusets arrivent au moule, por-

Digitized by Google

tés par des tenailles-brouettes faites de telle sorte que le creuset reste vertical lorsque l'ouvrier court en poussant sa brouette et qu'il bascule lorsque l'ouvrier soulève les brancards en posant son bord contre un arrêt placé à distance convenable de l'entonnoir. Grâce à la rapidité et à la facilité de la circulation, grâce aussi à une organisation presque militaire des ouvriers, organisation dont le modèle a été pris en Westphalie, on peut en quelques minutes amener à un seul moule plus de 500 creusets et couler des lingots ou pièces de plus de 20 000 kilogrammes. Les lingots ordinaires ou pour bandages se coulent au-dessus du plancher de la fonderie.

Le troisième bâtiment comprend les ateliers de moulage et la fonderie de fer. Tous les moules, gros ou petits, sont conduits de ce bâtiment à la fonderie sur des trucs qui les ramènent ensuite au démoulage. Des chambres à recuire, desservies aussi par chemins de fer, sont placées en dehors contre la moulerie et contre la fonderie.

Le quatrième massif est formé par les laminoirs à bandage, la forge et l'ajustage, et le cinquième par l'atelier des pilons.

Toutes les parties de l'usine sont desservies par des chemins de fer sur lesquels circule une petite locomotive-tender. Tous les appareils de lavage, grues, etc., sont disposés d'après le système Armstrong et fonctionnent hydrauliquement par la simple manœuvre de robinets.

Les aciéries Vickers n'avaient rien exposé en 1867. Outre les pièces d'acier moulées ou forgées, elles livrent au commerce des barres d'acier fondu ordinaire marquées *Marshall*, d'acier supérieur pour outils de tours, ciseaux, etc., marquées *Vickers*, d'acier extra pour coins et matrices, marquées également *Vickers*, enfin d'acier spécial pour outils de tours, mèches à percer, etc., marqué *Vickers'special.*

MM. Thomas Turton et fils possèdent deux usines (*Sheaf* and *Spring Works*) séparées par le canal de Hull qui leur apporte les fers de Suède, et limitrophes à la station du chemin de fer de Londres. Nous les avons visitées en 1862.

Digitized by Google

Elles comprenaient 13 fours à cémenter capables de convertir en acier 22 à 23 tonnes de fer chacun par opération, plusieurs fonderies, et d'immenses ateliers pour le forgeage, le taillage et la trempe des limes, pour la fabrication des outils tranchants, des ressorts, etc. MM. Turton et fils représentaient dignement l'industrie de Sheffield à l'Exposition de 1867, où ils avaient apporté une belle série de limes et d'outils, des pièces de machines (essieux pleins, tiges de piston) en acier fondu, et surtout un magnifique tableau d'échantillons ayant été soumis chez M. D. Kirkaldy à une intéressante série d'expériences sur la résistance à la traction, à la compression, à la flexion et à la torsion. Voici un résumé succinct traduit en mesures françaises de ces expériences qui ont porté sur dix qualités différentes d'acier ; nous n'en citerons que huit :

A. Acier pour coins de monnayage.
B. Acier pour outils de tours.
C. Acier pour outils.
F. Acier pour ressorts en spirale.
G. Acier pour tiges de pistons.
H. Acier pour essieux.
J. Acier pour boulons.
K. Acier corroyé double éperon.

1° RÉSISTANCE A LA TRACTION.

Essais sur barres carrées de $50^{mm},8$.
tournées à 29 millimètres sur une longueur de 254 millimètres.

Charge par millimètre carré de la section primitive,

à la limite d'élasticité :

A	B	C	F	G	H	J	K
»	$44^k,3$	$45^k,6$	$34^k,4$	$38^k,6$	$35^k,8$	$33^k,0$	$35^k,8$

à la rupture :

$88^k,2$	$76^k,0$	$73^k,0$	$77^k,0$	$57^k,4$	$67^k,9$	$64^k,4$	$73^k,1$

Allongement pour 100,

élastique à la limite d'élasticité :

»	$1^k,2$	$1^k,1$	$0^k,8$	$1^k,7$	$0^k,9$	$0^k,7$	$0^k,7$

permanent à la rupture :

$7^k,4$	$3^k,2$	$5^k,5$	$13^k,3$	$4^k,5$	$15^k,4$	$3^k,4$	$9^k,9$

Digitized by Google

Contraction de la section de rupture en centièmes.

A	B	C	F	G	H	J	X
11k,75	3k,23	28,02	19k,88	4k,07	30k,00	3k,23	13k,41

Rupture :

Brusque.	Brusque.	Brusque.	Graduelle.	Brusque.	Grad.	Brusque.	Grad.

2° RÉSISTANCE A LA COMPRESSION.

Essais sur bouts de barres carrées de 50mm,8 tournées à 29 millimètres, ayant 28 millimètres et demi de longueur.

Charge maximum de 154 kilogrammes et demi par millimètre carré.

Raccourcissement total en centièmes :

A	B	C	F	G	H	J	K
34,1	34,9	37,8	40,3	44,6	47,0	43,9	40,8

Raccourcissement permanent en centièmes :

25,0	26,1	28,7	30,8	36,0	37,6	34,9	31,1

3° RÉSISTANCE A LA TORSION.

Essais sur barres carrées de 50mm,8 tournées à 29 millimètres, encastrées en leur milieu ; chacune des moitiés ayant une longueur égale à 9 fois le diamètre, a été essayée séparément. Longueur du levier de torsion = 304 millimètres.

Effort élastique par millimètre carré :

A	B	C	F	G	H	J	K
0,83	0,81	0,77	0,68	0,70	0,68	0,84	0,70

Effort de rupture par millimètre carré :

1,78	1,61	1,60	1,62	1,50	1,54	1,48	1,46

Torsion finale en fraction de tour.

Premier bout :

0,438	0,323	0,294	1,120	1,195	1,487	0,348	0,515

Deuxième bout :

0,490	0,595	0,408	1,270	1,250	1,515	0,575	0,518

4° RÉSISTANCE A LA FLEXION.

Essais sur barres carrées de 50mm,8 dressées et ajustées à 48m,26. Distance entre les supports = 508 millimètres.

Charge élastique :

A	B	C	F	G	H(1)	J	K
9241k	10 147k	9 785k	8 788k	8 109k	8154k	8969k	7610k

(1) La barre H a été retirée sans fracture; toutes les autres ont cassé

Digitized by Google

Charge de rupture P :

A	B	C	F	G	H	J	K
21 064k	18 000k	17 957k	19 946k	16 427k	16 740k	18 096k	16 145k

Flèche totale en millimètres :

58,8	23,9	26,6	30,8	74,1	126,6	81,3	47,5

Valeur de $R = \frac{6\,Pl}{4\,ab^2}$ *par millimètre carré :*

143,2	122,4	122,1	135,6	111,7	113,8	123,0	109,7

MM. Burys et Cᵉ (*Regent Works*) avaient aussi, en 1867, une très-belle exposition de lingots, barres, tôles et outils d'acier fondu au creuset. MM. J. Shipman et Cᵉ (*Attercliffe Steel and Wire Works*) représentaient encore l'industrie de Sheffield avec des aciers tréfilés. MM. John Brown et Cᵉ (*Atlas Steel and Iron Works*) qui fabriquent surtout dans leur immense usine des aciers puddlés, des aciers Bessemer, possèdent néanmoins 18 fours à cémenter et 48 fours de fusion au coke qu'ils emploient surtout pour la fabrication des boulets d'acier; ils exposaient aussi des barres d'acier à outils. MM. C. Cammell et Cᵉ (*Cyclops Works*), les émules de M. J. Brown et Cᵉ ont aussi une fonderie au creuset.

MM. Shortridge, Howell et Cᵉ (*Hartford Steel Works*) fabriquaient en 1862, et fabriquent probablement encore un acier très-doux qu'ils appelaient *métal homogène*, facilement soudable, prenant à peine la trempe, très-ductile et susceptible d'un très-beau poli. Les essais de diverses natures effectués sur ce métal indiquaient des qualités précieuses pour diverses applications. Ainsi, dans des expériences faites à Chatham par sir John Burgoyne, une tôle de 5 millimètres en métal homogène ne fut pas percée à 90 mètres par une balle de carabine, tandis qu'une tôle de 12 millimètres en fer de Lowmoor le fut. D'après M. Napier, la charge de rupture la plus considérable pour de petites barres de Lowmoor était 47ᵏ,6 par millimètre carré, tandis que pour le métal homogène elle était 69ᵏ,9 : les barres les plus faibles avaient cassé à 57ᵏ,7. Dans une expérience plus récente de M. Kirkaldy, une barre de 3ᵐ,05 de longueur après avoir résisté quelques minutes à un effort de 41ᵏ,2 par millimètre carré, ne présentait point d'allongement permanent; sous une charge de

Digitized by Google

69^{k},7 par millimètre carré, elle a pris un allongement permanent de 0^{m},215, et elle a cassé à 70^{k},7 par millimètre carré.

Il serait trop long de décrire d'autres aciéries de Sheffield; toutefois nous ne pouvons quitter cette ville sans citer quelques noms de fabricants d'acier fondu connus dans le monde entier : MM. Sanderson frères et Ce, MM. W. Jessop et fils, MM. Spear et Jackson, MM. Thomas Firth et fils sont au nombre des plus anciens *cutlers* de la ville.

La concurrence redoutable que les aciers doux Bessemer et autres font aux fers fins comme ceux des anciennes forges des environs de Leeds, a décidé plusieurs d'entre elles à installer de grandes fabrications d'acier provenant surtout de la fusion de leurs fers ou aciers puddlés. Ainsi l'*usine de Monkbridge* fabrique maintenant des aciers fondus pour bandages surtout, et en exposait un bel assortiment en 1867. MM. Taylor frères, de l'*usine de Clarence*, sont dans le même cas, et exposaient aussi des bandages et essieux en acier fondu au creuset; ils livrent ces produits en concurrence avec ceux similaires en acier Bessemer. L'*usine de Bowling* elle-même est entrée dans cette voie.

Le nombre des aciéries au creuset installées dans d'autres parties de la Grande-Bretagne est assez restreint, et leur importance n'atteint pas à beaucoup près celle des aciéries de Sheffield. MM. John Spencer et fils (*Newburn Steel Works*), de Newcastle, exposaient, en 1867, des aciers à outils, des limes, etc. En Ecosse, MM. Hawksworth et Ce ont une aciérie à *Linlithgow*, où ils fabriquent des plaques pour graveurs et des canons de fusil en acier fondu au creuset.

QUATRIÈME SECTION

Prusse et Allemagne du Nord.

L'Allemagne est, depuis une haute antiquité, réputée pour la qualité de ses aciers naturels, affinés et corroyés; mais la production de l'acier fondu au creuset y est de date beau-

Digitized by Google

coup plus récente. et ne remonte pas au delà de 1830, d'après ce que nous avons pu savoir. Elle y a acquis maintenant une importance colossale, et les aciéries de la Westphalie ont atteint, sinon dépassé, la puissance de celles du Yorkshire.

La fabrique d'acier la plus importante de Prusse est l'établissement bien connu de M. *Friedrich Krupp*, à Essen, que l'on peut aussi considérer comme l'aciérie la plus considérable du monde entier. Cet établissement est très-favorablement situé dans le bassin houiller de la Ruhr, relié à trois grandes lignes ferrées, à deux heures de Cologne, et sur la grande route de Cologne-Minden-Berlin. C'était autrefois un petit atelier pour la fabrication des outils, lorsque, en 1826, M. Alfred Krupp, jeune garçon de quatorze ans, en hérita de son père M. Friedrich Krupp. Grâce à l'intelligence, à l'énergie et au travail d'un seul homme (car M. Krupp n'a pas d'actionnaires), ce petit atelier est devenu une usine immense, presqu'une ville, ainsi qu'on le verra dans les notes suivantes fournies par la maison Krupp, en 1867 :

L'établissement existe depuis quarante ans, en se développant peu à peu et en s'agrandissant presque chaque année d'un sixième à un tiers ; il couvre en ce moment 204 hectares, dont 52 hectares en bâtiments couverts ; il occupe 10 000 ouvriers, dont 8 000 dans les aciéries et 2 000 dans les charbonnages à Essen et les mines de fer, hauts fourneaux et fonderies sur le Rhin (à Sayn), et dans le Nassau.

En 1866, l'établissement a produit environ 62 500 tonnes d'acier fondu au creuset, valant sous ses diverses formes plus de 37 500 000 francs.

Ses moyens de travail sont : 412 fours de fusion, à recuire et de cémentation, 195 machines à vapeur de 2 à 1 000 chevaux, 49 marteaux pilons dont le poids utile varie de 50 à 50 000 kilogrammes (1), 110 forges, 318 tours, 111 machines

(1) Le pilon de 50 tonnes dont la levée est de 3 mètres environ, a une enclume de 1 250 tonnes faite en 8 blocs de fonte.

Digitized by Google

à raboter, 61 machines à fraiser, 84 machines à percer 75 machines à polir, 26 machines outils diverses. Cette énumération ne parle ni des marteaux à bascules, ni des laminoirs qui sont mus par les machines à vapeur (et parmi lesquels il en est un qui absorbe 2000 chevaux, et qui a des cylindres à tôle de 4m,50 de table), ni des convertisseurs Bessemer qui étaient en 1869, d'après un visiteur, au nombre de dix-huit. Pour l'alimentation des machines à vapeur, 120 chaudières transforment, dans les vingt-quatre heures, 5 500 mètres cubes d'eau en vapeur à 4 atmosphères de pression.

L'usine à gaz de l'établissement alimente 10 à 11 000 becs de gaz, et fournit dans les jours les plus courts jusqu'à 14 800 mètres cubes en vingt-quatre heures. Tous les ateliers sont réunis entre eux par des voies ferrées d'une longueur de 27 500 mètres desservies par 6 locomotives et 200 wagons.

D'après les renseignements fournis par la maison Krupp, tous les produits qui sortent de l'usine sont des aciers fondus au creuset. Les nombreux fours à puddler et les convertisseurs Bessemer ne servent qu'à fabriquer des aciers bruts qui sont ensuite refondus dans des creusets en mélange avec des fers soigneusement préparés, ou avec des spiegeleisen de choix, pour obtenir les aciers marchands. On n'emploie dans les creusets de l'acier cémenté que pour la fabrication des aciers à burin et des cylindres (trempés et polis) qui servent pour le laminage des métaux précieux et qui formaient anciennement la spécialité de la maison. La majeure partie de la fabrication provient de la fusion d'un mélange d'acier brut et de fer provenant du puddlage des excellentes fontes manganésifères fabriquées avec les minerais des pays de Siegen et de Nassau.

Les creusets sont fabriqués avec un soin extrême; la pâte se compose d'un mélange de plombagine, d'argile réfractaire, de débris de briques et de vieux creusets; elle est mélangée et pétrie mécaniquement; le moulage se fait par emboutissage au balancier; le séchage a lieu très-lente-

Digitized by Google

ment dans des séchoirs qui contiennent toujours au moins 100 000 creusets. Ces creusets plombaginés ont une capacité qui varie de 20 à 40 kilogrammes suivant la nature de l'acier à obtenir ; on ne craint pas l'action carburante de la plombagine contre laquelle on prend les précautions nécessaires dans le dosage de la charge. Ils ne servent du reste jamais qu'une fois, et on peut ainsi les porter à une température excessivement élevée, à laquelle des creusets chargés pour la deuxième ou troisième fois ne résisteraient probablement pas.

Les fours sont de diverses natures, chauffés au coke ou au gaz, et renferment 2, 4, 8, 12 ou 24 creusets. Dans la plus grande halle de fonderie, il y a des fours pour 1500 creusets chauffant tous à la fois, disposés de telle sorte qu'avec des ouvriers exercés et habilement dirigés, le contenu de tous les creusets puisse arriver à un même moule.

En 1851, M. Krupp fit sensation à l'Exposition de Londres en exposant un lingot du poids (alors extraordinaire) de 2 250 kilogrammes. En 1855, à Paris, il envoya un lingot de 5 000 kilogrammes ; en 1862, à Londres, un autre de 20 000 kilogrammes. A l'Exposition de 1867, M. Krupp se présentait avec un lingot cylindrique de 1m,467 de diamètre, forgé à huit pans à sa partie supérieure et pesant 40 000 kilogrammes. Pour montrer l'homogénéité de la matière, des cassures partielles étaient pratiquées à mi-hauteur ; la face supérieure dont la moitié était polie permettait d'apprécier, depuis une galerie voisine, la finesse, la densité et la pureté du métal. Ce lingot était destiné à être transformé en arbre de bateau à vapeur sous l'action du gros marteau de 50 tonnes. Tous les métallurgistes ont admiré l'uniformité de son grain et l'absence totale de soufflures, si remarquables dans une pièce de cette dimension, et qui témoignent à la fois de la qualité de la matière et de l'habileté des fondeurs.

En 1862, à l'Exposition de Londres, il était encore plus aisé de se rendre compte de la qualité des aciers Krupp. On y voyait : 1° un lingot cylindrique, brut de fusion, pesant

Digitized by Google

20 tonnes, ayant 1m,10 de diamètre et 2m,40 de longueur ; ce lingot avait été cassé par le milieu, à froid, sous le marteau de 50 tonnes, après avoir été entamé à la scie de chaque côté ; les cassures étaient parfaites, sans soufflures et sans reprises, ce qui montre que le martelage n'a pas pour but de resserrer ou de souder ces solutions de continuité qui, lorsqu'elles existent, présentent de sérieux inconvénients; 2° un lingot carré de 4000 kilogrammes dont la moitié était brute de fusion et l'autre moitié forgée. Cette pièce, en acier très-doux, était cassée longitudinalement pour faire voir l'action améliorante du martelage sur le grain, ainsi que la douceur et le corps du métal; 3° un lingot forgé, brisé en quatre morceaux, pour montrer l'uniformité du grain et la densité du métal dans toute la pièce; 4° une pièce d'acier forgé de 42 centimètres de largeur sur 22 centimètres d'épaisseur, avec cassures aux deux bouts, pliée au milieu à chaud sous le marteau de façon à rapprocher les extrémités et sans qu'il y eût une seule crique sur la convexité de la courbure.

On voyait aux deux expositions de remarquables spécimens de cassures d'aciers durs et doux, des surfaces polies, etc.

M. Krupp fabrique surtout des canons en acier doux pour presque tous les gouvernements européens. Pour donner une idée de la qualité de cette matière, nous reproduisons ici les résultats d'essais de M. D. Kirkaldy sur cinq spécimens d'acier tournés et polis, provenant pour les trois premiers du tube intérieur d'un canon de 1000, et les deux derniers des frettes qui consolident ce tube.

Longueur des barreaux	355mm,60
Diamètre.	31 ,75
Section initiale.	791mmc

	I.	II.	III.	IV.	V.
Charge de rupture par millim. carré . . .	60k,370	60k,250	59k,940	56k,423	56k,198
Allongement pr 100..	10,3	10,1	9,9	14,0	12,0

Pour ces cinq spécimens, la limite d'élasticité paraît avoir été voisine de la charge de 8k,4 par millimètre carré ; avec

Digitized by Google

cette charge, le barreau I avait pris un allongement permanent de 0,01 pour 100 et le barreau III de 0,05.

Après l'établissement de M. Krupp qui a pour spécialité, comme on a vu, le forgeage de grosses masses d'acier, viennent ceux de la *Société de Bochum*, aussi en Westphalie, dans le voisinage d'Essen, et qui ont pour spécialité les moulages en acier. Cette société, établie en 1854, exploite l'aciérie fondée en 1843 par MM. Mayer et Kühne ; elle fabrique surtout de l'acier au creuset, n'employant l'acier Bessemer que pour les rails. La société possède cinq usines savoir :

1° L'usine principale de Bochum qui comprend une fabrique de roues avec une production de 400 paires par mois, une fabrique d'essieux (1 000 essieux par mois), une fabrique de bandages (1 000 par mois), une fabrique de ressorts produisant par mois 2500 ressorts de traction et 5 000 ressorts en spirale, enfin la fabrique de rails produisant 3 750 rails par mois.

2° La fabrique de canons, près de Bochum, qui comprend une forge avec 6 marteaux pilons de 5000 à 62 500 kilogrammes, un atelier de tournage des canons, un atelier d'ajustage. On y fabrique aussi les arbres pour machines à vapeur de navigation.

3° L'atelier de carbonisation, près Bochum, qui fournit le coke nécessaire pour la fusion au creuset.

4° L'usine à fonte d'Unterkaltenbach qui produit avec 1 seul haut fourneau 250 à 300 tonnes de fonte par mois.

5° L'usine à fonte de Wiesgen dans l'Eifel qui produit avec 2 hauts fourneaux 200 tonnes de fonte par mois.

La société de Bochum occupe, dans ses divers établissements, environ 2 500 ouvriers. Elle exposait en 1867 des objets nombreux provenant de moulages d'acier, dont nous parlerons plus tard, des cassures de lingots, de barres, de roues, montrant les divers grains et les diverses duretés de l'acier, toutes ces cassures sans une seule soufflure, un copeau de tournage d'acier long de 48 mètres prouvant la ténacité et la douceur de cette matière. La fonderie de Bo-

Digitized by Google

chum, grâce à l'invention du moulage d'acier due à M. Jacob Mayer, occupe une place presque unique dans le monde ; une seule usine peut lui être comparée, c'est celle de M. Vickers fils et Ce, à Sheffield, qui est cessionnaire des procédés Mayer. En France, MM. Jacob Holtzer et Ce, d'Unieux, ont aussi traité avec Bochum.

Après les aciéries d'Essen et de Bochum, celles dont il nous reste à parler présentent moins d'importance sous le rapport des masses d'acier produites ou mises en œuvre, mais toutefois elles méritent par la qualité des aciers en barres et des aciers ouvrés qu'elles fabriquent que nous nous y arrêtions quelques instants.

*MM. Berger et Ce*, à Witten sur la Ruhr, ont une aciérie fondée en 1854, qui est capable de produire 2 500 tonnes d'acier fondu par an, et de couler des lingots de 8 500 kilogrammes. La fonderie occupe 240 ouvriers, et les ateliers de finissage 120 ouvriers et 9 machines à vapeur. Ils fabriquent surtout du matériel de guerre, des outils tranchants et des limes. Leur exposition en 1867 était remarquable.

Les *aciéries de Schœnthal*, près Wetter sur la Ruhr, à MM. Harkort et Gravemann, existent depuis 1810 et se livraient à la fabrication des aciers naturels et corroyés. Outre les ateliers pour l'obtention du fer et de l'acier puddlé, elles comprennent maintenant 5 fours à cémenter produisant 625 tonnes par an et occupant 2 ouvriers, une fonderie d'acier avec 12 fours et 26 ouvriers produisant aussi 625 tonnes par an, sans parler des accessoires. Ils exposaient en 1867 des barres d'acier fondu forgées sous forme d'outils divers, et trempées à leur extrémité, des tôles d'acier fondu pour cuirasses et une cuirasse ayant reçue un coup de feu sans être fendue ou criquée.

Les aciéries classiques des environs de Remscheid et de Solingen, si connues pour leurs aciers corroyés et raffinés, produisent maintenant aussi une certaine quantité d'acier fondu. *MM. Mannesmann*, de Remscheid, exposaient un lingot, des barres, des cylindres de laminoirs pour monnaies. *MM. Sternenberg*, de Milspe, possesseurs de l'antique aciérie

Digitized by Google

Heilenbeck, produisent 300 tonnes d'acier cémenté et 400 tonnes d'acier fondu par an, sans compter 175 tonnes d'acier naturel au charbon de bois. Les *aciéries de Limburg sur la Lenne*, fondées en 1846, produisent annuellement 4000 tonnes d'acier de diverses natures. *M. Carl Jung* de Dahl, près Hagen (Westphalie), qui exposait à Londres en 1862 des aciers naturels au bois fondus, cotés 46 francs les 100 kilogrammes seulement, ne figurait pas à Paris en 1867.

La Saxe possède une belle aciérie (*Fabrique saxonne d'acier fondu*) à Dœhlen, près de Dresde. Cette usine, fondée en 1865 et occupant 160 ouvriers, fabrique surtout des ressorts, des essieux et des pièces de machines; elle exposait cependant aussi un canon de campagne et des cylindres de petits laminoirs. Ses fours de fusion sont chauffés au gaz de lignite par le système Siemens.

CINQUIÈME SECTION

Autres États européens.

La Belgique n'est pas un pays producteur d'acier. Bien que dès le dix-septième siècle, les armuriers de Liége aient connu le procédé de cémentation, et quoiqu'en 1807 MM. Poncelet eussent établi dans cette ville une fabrique d'acier fondu au creuset, les aciéries n'ont pas pris une grande importance chez nos voisins. Il en existe quelques-unes seulement qui emploient des fers de Suède pour fabriquer des aciers fondus à outils et des canons de fusil; nous citerons *M. Regnier* de Jupille, près Liége, qui exposait en 1867.

La grande *usine de Seraing* possède aussi un certain nombre (24) de fours à creusets, où elle raffine l'acier qu'elle produit par le procédé Bessemer.

Le Wurtemberg possède les *aciéries royales de Friedrichsthal*, fondées en 1805, qui fabriquent de l'acier fondu pour faux, sabres, faucilles, etc.

Digitized by Google

L'empire d'Autriche, dont les aciers naturels de Styrie et de Carinthie ont une réputation qui remonte à la plus haute antiquité, n'a pas la même importance pour les aciers fondus au creuset. MM. Franz et Rudolf Mayr, de Leoben, possèdent l'usine la plus importante dans cette spécialité : la *fabrique impériale royale privilégiée d'acier fondu de Kapfenberg*, qui, fondée en 1855, fut alors basée sur l'emploi du charbon de bois dans des fours soufflés pour le chauffage des creusets de fusion. Mais la pénurie de ce combustible et l'impossibilité totale de se procurer du coke convenable à un prix abordable, conduisirent à l'essai du lignite cru pour les fours de fusion d'acier. Grâce au système Siemens convenablement modifié, le problème fut résolu, et en 1867 l'usine employait exclusivement pour fondre tous ses aciers des menus lignites crus des mines de Leoben, Parschlung, etc. Le système Siemens seul pouvait permettre l'emploi des lignites, et il conduit en même temps à une économie importante de combustible : on ne brûle que 300 kilogrammes de lignite de Leoben par 100 kilogrammes d'acier en lingots. Toutefois il a l'inconvénient de porter trop la chaleur vers la voûte, de sorte que le fond des creusets n'est pas assez chauffé, et le règlement de la température est moins facile et moins sûr que dans les autres systèmes. Les établissements situés à la station de Kapfenberg, près Bruck sur la Mur, comprennent :

1° La fonderie avec 10 fours de fusion au gaz et accessoires ;

2° Trois ateliers d'étirage mus par l'eau, avec 11 martinets (pesant de 100 à 675 kilogrammes) et les fours de réchauffage nécessaires ;

3° La fabrique de creusets et briques réfractaires avec 9 presses, 2 fours de cuisson, 2 martinets, 1 bocard, 1 molleton pour le broyage des argiles, graphite, quartz, des séchoirs et des magasins pour 20 000 creusets environ ;

4° La fabrique de limes avec les locaux nécessaires pour le forgeage, le taillage et la trempe.

En 1867, l'usine de Kapfenberg pouvait produire annuelle-

Digitized by Google

ment 1 400 tonnes d'acier fondu et obtenir des lingots de 2 800 kilogrammes. On y fabrique : toutes les espèces d'aciers à outils, parmi lesquelles la plus fine, celle dite *acier au manganèse* (*manganstahl*), bien qu'elle n'en renferme pas, équivaut aux meilleurs aciers fondus anglais comme dureté, et leur est supérieure comme élasticité et comme résistance à plusieurs trempes répétées; l'*acier soudable*, qui sert à aciérer les outils, pour les faux, etc. ; l'acier à limes, l'acier pour pièces de machines, remarquable pour sa douceur et sa ténacité ; l'acier à ressorts ; l'acier pour armes, canons, baïonnettes, etc., apprécié des arsenaux autrichiens et prussiens pour sa malléabilité, son homogénéité et sa résistance, etc. On peut même obtenir des grosses pièces de machines en acier tout ajustées et prêtes à employer.

En 1867, les aciers fondus de Kapfenberg étaient cotés comme suit, pris à l'usine :

Acier fin à outils.	100 à 130 fr.	les 100 kil.
— au manganèse	138 à 168 —	—
— pour pièces de machines. .	100 à 140 —	—
— brut en lingots.	75 à 80 —	—
Tôles d'acier.	120 à 200 —	—
Acier à limes	85 à 92 —	—
— à faux.	85 à 92 —	—

Après les usines Mayr, on peut encore citer les *aciéries impériales et royales de l'Innerberg*, qui produisent à Reichramig des aciers fondus de qualité supérieure classés en six duretés, et des aciers au wolfram. Avec deux ateliers comprenant l'un 4 fours de fusion, l'autre 2 fours de cémentation et 3 fours de fusion, ces aciéries fournissent annuellement 560 tonnes d'acier fondu. Comme les autres aciéries autrichiennes, elles emploient le charbon de bois pour combustible, et consomment 14 à 17 hectolitres de charbon de sapin par 100 kilogrammes d'acier en lingots. Voici les prix cotés en 1867 pour ces aciers fondus :

Lingots bruts.	78 fr. 00	les 100 kil.
— ressués.	87 50	—

Digitized by Google

Acier à outils martelé	97,50 à 153 fr. 00	les 100 kil.
— laminé.	97,50 à 139 00	—
Acier à ressort laminé.	97,00 à 101 50	—
Acier à outils avec 3 pour 100 de wolfram	18 50 de plus par 100 kil.	
Acier à outils avec 5 pour 100 de wolfram.	32 fr. 50 de plus par 100 kil.	

Le comte de Meran, dans l'*aciérie de Krems*, près Gratz, et l'Etat, dans l'*usine d'Eibiswald*, aussi près Gratz, fabriquent encore des aciers fondus au creuset pour outils, canons de fusil, etc. Ces deux usines avaient exposé en 1867.

L'*aciérie de Thalgau*, près Salzburg (Haute-Autriche), à Mme veuve Zeller, *celle de Streiteben* (Carenthie), au comte de Thurn, *celle de Traisen*, à M. Berthold Fischer, exposaient aussi des aciers fondus.

L'Autriche, grâce à la qualité de ses minerais styriens et carinthiens et à leur antique réputation, envoie ses aciers sur les marchés les plus éloignés, mais leur tonnage n'est pas considérable.

L'Italie ne fabrique que fort peu d'aciers fondus au creuset et ils restent tous dans sa consommation intérieure. *M. Gregorini*, à Lovere, fond au creuset des aciers puddlés et des aciers naturels de sa fabrication, par parties égales, et il obtient ainsi une bonne qualité d'acier. *M. Glisenti*, de Brescia, fabrique l'acier fondu au moyen d'un mélange de fer affiné par la méthode comtoise, avec 10 pour 100 de fonte blanche miroitante de Pisogne : son aciérie est la plus importante d'Italie, et il exposait des aciers à outils, des limes, des canons de fusil, des rasoirs qui en provenaient. A Naples, *M. Mascolo* fabrique un peu d'acier fondu par la méthode anglaise de cémentation et fusion au coke.

L'Espagne ne fait d'acier fondu au creuset qu'à l'*usine de Trubia* (76 creusets), exploitée par l'artillerie ; le Portugal et la Turquie ne possèdent point de fabriques d'acier fondu.

La Suède produit peu d'acier fondu au creuset provenan de la cémentation de ses fers à aciers, quoiqu'elle fabrique

Digitized by Google

pour la consommation intérieure une certaine quantité d'acier cémenté et corroyé. Mais deux de ses usines livrent au commerce des aciers de fusion provenant de méthodes spéciales.

L'aciérie de Wikmanshytta (M. C. R. Ulff), à Hedemora (Dalécarlie), fabrique de l'acier par la méthode Uchatius, en fondant dans des creusets un mélange de fonte granulée par sa chute sur une roue hydraulique spéciale, de minerai riche de Bispberg et d'un peu de charbon. La fonte employée provient d'un mélange de minerais riches et pauvres de Bispberg. On voyait à l'Eposition de 1867 un lingot brut non martelé dont la cassure n'était point visible, et un lingot martelé présentant un grain de fonte grise n° 3, avec quelques arrachements. Les barres qui en proviennent ont un beau grain très-fin, et leur propriété spéciale est la dureté, qui dépasse celle des meilleurs aciers fondus d'Angleterre pour poinçons. L'usine de Wikmanshytta est la seule, croyons-nous, où la méthode Uchatius soit entrée dans la pratique; il faut en effet, pour le succès de cette fabrication, une constance de qualité et de nature dans la fonte, une richesse et une pureté dans le minerai qu'on trouverait difficilement ailleurs qu'en Suède. Un minerai donnant plus de scorie que celui de Bispberg enlèverait toute sécurité dans la qualité de l'acier obtenu. L'acier de Wikmanshytta était coté, en 1867, 127 francs les 100 kilogrammes, pris à Gefle ou Stockholm, pour les dimensions courantes, et 142 francs pour les petites dimensions.

M. C.-A. Rettig, maître de forges à Kihlafors (Gefle), qui fabrique les excellents fers d'armes dont nous avons déjà parlé, est breveté en Suède pour un procédé de fabrication d'acier qui n'est autre que l'ancienne méthode de Réaumur. Il fait l'acier en mettant en fusion dans des creusets un mélange de fonte provenant des excellents minerais de Hammarin, et de fer affiné provenant de cette même fonte. La bonne qualité des matières premières explique celle de l'acier qu'il exposait en 1867.

En Norwége, les *forges de Naes*, près Twedestrand

Digitized by Google

(M. J. Aall et fils), fabriquent des aciers fondus d'excellente qualité par la méthode anglaise avec leurs propres fers. Elles possèdent 3 fours de cémentation à 2 caisses, et 8 fours à 4 creusets. En 1864, M. Aall livrait déjà au commerce et nous l'avons rencontré venant faire essayer ses lingots à Solingen et à Remscheid. Il fournit la fabrique d'armes de Kongsberg, et exposait, en 1867, des projectiles cylindro-coniques et cylindriques en acier fondu.

L'empire de Russie avait envoyé à l'Exposition de 1867 des aciers fondus de plusieurs provenances. Les *aciéries de Votkinsk* (Viatka) emploient la méthode anglaise avec leurs fers affinés au charbon de bois, provenant des minerais de l'Oural; elles exposaient des aciers fondus de diverses qualités, cotés 115 francs les 100 kilogrammes, une grande tôle d'acier fondu ayant 6 millimètres d'épaisseur, des projectiles, et fournissent presque exclusivement aux besoins des ministères de la guerre et de la marine. La *fabrique d'armes de Zlatoost* (Perm) exposait des essieux, des bandages et des cylindres de laminoirs en acier fondu, cotés 300 francs les 100 kilogrammes. La *fonderie de canons de Perm* exposait des canons de 4 et de 24 en acier fondu également. Enfin, près de Saint-Pétersbourg même, se trouve l'*aciérie Oboukhoff*, fondée par le colonel d'artillerie de ce nom, qui est inventeur d'un procédé particulier. Ce procédé consiste à fondre, dans des creusets qui peuvent contenir 25 à 35 kilogrammes, un mélange d'acier puddlé, de fonte blanche pure et de minerai de fer magnétique en poudre convenablement dosé; pour les aciers doux on emploie du fer au lieu d'acier puddlé; il n'a en réalité rien de bien spécial. L'aciérie Oboukhoff exposait en 1867 des canons, des arbres de machines de navigation, des cylindres de laminoirs à monnaies, et des aciers à outils, cotés 200 francs les 100 kilogrammes environ.

Aux Etats-Unis, la production de l'acier s'est élevée à 18 000 tonnes en 1864; le nombre des aciéries fabriquant de l'acier fondu dépasse vingt-cinq. Deux d'entre elles seules figuraient à l'Exposition de 1867 et attiraient l'attention par la beauté de leurs produits; c'étaient : *MM. Park frères et C*°,

Digitized by Google

de Pittsburg (Pensylvanie), et la *Douglas Axe manufacturing Company*, de Boston (Massachusetts), qui fabriquent tous deux des outils tranchants, haches, etc., en acier fondu. La Pensylvanie possède à Philadelphie et à Pittsburg un assez grand nombre d'aciéries au creuset; l'Etat de New-York est dans le même cas : la *Montauk Iron and Steel Company* fabrique à Motthaven de l'acier fondu directement avec les minerais, par un procédé analogue à celui de Chenot. Le Massachusetts, l'Illinois, le Wisconsin, l'Alabama renferment aussi quelques aciéries : celle de *Shelton* (Alabama) était représentée en 1867 par un lingot d'acier.

CHAPITRE DEUXIÈME

FABRICATION DE L'ACIER CORROYÉ.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur la fabrication.

L'acier corroyé du commerce est fabriqué, soit avec des aciers cémentés, soit avec des aciers naturels, provenant de l'affinage de la fonte au charbon de bois, soit avec des aciers puddlés. Nous ne reviendrons plus sur la cémentation du fer, mais nous donnerons quelques détails sur l'état actuel de la fabrication des aciers naturels et des aciers puddlés.

Affinage pour acier au bas foyer. — Pour fabriquer de l'acier au lieu de fabriquer du fer dans un bas foyer soufflé, on comprend qu'il suffira d'employer des fontes pures dont on puisse conduire la décarburation lentement pour l'arrêter avant affinage complet. La manière d'effectuer cette opération a varié notablement avec les pays, suivant la nature des fontes et suivant les produits qu'on voulait obtenir. Dans la Styrie, la Carinthie, le Tyrol, on affine pour acier des fontes blanches peu carburées, ou des *floss* provenant du mazéage préalable des fontes grises ou truitées; on a ainsi dans le

Digitized by Google

feu d'affinerie une fusion déjà pâteuse, et la transformation en acier s'effectue rapidement et aisément.

Dans la Westphalie, on affine des fontes blanches miroitantes très-carburées, et dans le Dauphiné des fontes grises qui, comme les précédentes, deviennent complétement fluides dans le feu d'affinerie. On distinguait autrefois un assez grand nombre de procédés différents, et aujourd'hui, malgré l'importance très-réduite de cette branche de la métallurgie, on trouve encore six modes de travail différents :

Le *procédé tyrien* consiste à traiter dans un feu d'affinerie brasqué 80 à 90 kilogrammes de fonte blanche froide, en ajoutant sur les charbons quelques scories crues d'affinage pour fer. La masse ferreuse a bientôt pris une consistance suffisante pour qu'on puisse la soulever hors du feu et la partager sous le marteau en un certain nombre de massiaux que l'on forge les uns après les autres en barres. On jette ces barres encore chaudes dans un bac plein d'eau, et on les classe, d'après le grain, en aciers de diverses natures et en fers aciéreux.

Dans le *procédé carinthien*, qu'on appelle aussi *faux procédé brescian*, on emploie des fontes grises ou truitées que l'on maze d'abord dans le feu d'affinerie et que l'on retire ensuite, après avoir soutiré les scories et en jetant de l'eau à la surface, en plaques épaisses de 25 à 30 millimètres ou *blettes*. Après cette opération préliminaire, on refond d'abord dans le feu un peu de fonte non mazée mélangée de scorie, puis on ajoute des blettes les unes après les autres, en réglant la consistance du bain par des additions de fonte ou de scories suivant le cas. Bientôt on peut retirer la masse métallique en deux loupes que l'on travaille à part et qu'on transforme en barres qui sont ensuite classées après trempe. Ce procédé donne un acier plus dur et plus homogène que le précédent, mais qui coûte plus cher à cause de la plus grande consommation de combustible.

Le *véritable procédé brescian*, appelé aussi *procédé de Paal*, coûte encore plus cher, mais fournit les meilleurs aciers styriens; il ressemble beaucoup au précédent, seulement on

Digitized by Google

mazé davantage la fonte, et les massiaux, avant leur étirage, sont plongés dans le bain métallique où ils subissent une sorte de cémentation qui donne de la dureté et de la ténacité à l'acier et qui fait disparaître les parties impures ou ferreuses.

Le *procédé tyrolien* emploie, comme le carinthien, des fontes mazées et mises sous forme de blettes; mais la conduite du travail et le réchauffage des massiaux se font comme dans le procédé styrien. On obtient avec lui un acier plus dur que l'acier styrien et moins dur que l'acier carinthien.

Dans la Westphalie et dans quelques aciéries françaises du Nord-Est, on fabrique l'acier naturel avec les spiegeleisen prussiens au moyen du *procédé de Siegen*. Dans ce procédé, que nous avons décrit en 1864 dans notre travail sur le pays de Siegen, le feu est formé de plaques de fonte et a une sole en grès réfractaire; on le garnit de scories riches et on commence à former au fond une couche semi-fluide de fonte blanche ou truitée s'affinant rapidement; quand cette couche est faite, on fait fondre les charges de spiegeleisen. La loupe que l'on extrait à la fin de l'opération est martelée sous forme de gâteau, que l'on sépare ensuite en tranches plus ou moins coniques. Celles-ci sont ensuite reprises les unes après les autres et réchauffées pour l'étirage en barres. On trempe ensuite ces barres, on les casse et on les classe.

En France, on emploie encore le *procédé rivois* (de Rives en Dauphiné) par lequel on affine des fontes grises dans un foyer tronconique en brasque, en procédant par charges de 1 200 à 1 300 kilogrammes de fonte qui fournissent 30 à 40 massiaux d'acier que l'on classe d'après leur dureté.

L'acier naturel fabriqué au charbon de bois coûte fort cher, quel que soit le procédé : aussi a-t-on, dans beaucoup d'usines, abandonné le bas foyer pour se servir du four à réverbère, la différence des valeurs commerciales de l'acier puddlé et de l'acier affiné étant beaucoup moindre que celle de leurs prix de revient.

Puddlage pour acier. — C'est à Frantschach, en Carinthie, que furent faits en 1836, par MM. Schlegel et Muller, les pre-

Digitized by Google

miers essais d'affinage pour acier au four à réverbère ; ces essais, repris en 1838 à Lohe (près Siegen) par M. Stengel, en 1840 à Hagen (Westphalie), en 1849 à Eibiswald (en Styrie) et ailleurs encore, n'aboutirent pas à des résultats pratiques importants. MM. Lehrkindl, Falkenroth et Cᵉ, de Haspe (Westphalie), eurent l'honneur de réussir les premiers dans cette fabrication en 1850, et, depuis cette date, le puddlage pour acier n'a cessé d'augmenter d'importance.

Il n'entre pas dans notre programme de donner ici une théorie du puddlage et d'expliquer les différences qui existent entre le puddlage pour acier et celui pour fer. Nous renverrons nos lecteurs à un remarquable mémoire de M. Gruner dans les *Annales des mines* de 1859 (1), qui est le plus clair et le plus instructif publié sur cette question, et nous nous contenterons d'indiquer sommairement quelques points pratiques.

Les fontes que l'on puddle pour acier varient avec les localités. Dans les aciéries françaises de la Loire, on traite surtout des fontes grises chaudes, plus ou moins manganésées, provenant des minerais méditerranéens. Dans les usines westphaliennes, au contraire, on emploie des fontes blanches chaudes, très-carburées et manganésifères, comme les spiegeleisen provenant des minerais de Siegen et de Nassau. En Styrie et en Carinthie on emploie des fontes miroitantes et des fontes blanches rayonnées. Ces diverses fontes doivent être puddlées de manières différentes; aussi les procédés de puddlage pour acier varient-ils suivant les pays, et M. Gruner en explique très-clairement la nécessité.

On connaît l'importance du rôle de la scorie dans le puddlage; c'est de la nature de cette scorie, de sa plus ou moins grande fluidité, de son action décarburante plus ou moins forte que dépendra la qualité de l'acier. On ne doit, du reste, pas compter beaucoup dans le puddlage pour acie sur une action épurante; il faut que les fontes employées soient aussi pures que possibles, c'est-à-dire renferment

(1) *Notes diverses sur l'acier puddlé et l'acier de forge.*

Digitized by Google

seulement de très-faibles traces de soufre et de phosphore. Il importe surtout d'avoir une scorie très-fluide, et peu décarburante tout en étant suffisamment basique, d'autant moins décarburante que l'on veut obtenir un acier plus dur. Une bonne scorie moyenne pour puddlage d'acier ne doit pas dépasser le sous-silicate (SB^2) comme degré de basicité; elle doit plutôt se rapprocher des scories crues comme celles de réchauffage ou comme celles des premières périodes de l'affinage comtois au bas foyer. Plus elle est basique, plus elle doit renfermer d'oxyde de manganèse, afin d'augmenter sa fluidité et de diminuer son action décarburante.

Une bonne fonte grise pure peut être assez chargée en silicium et contenir en même temps assez de manganèse pour que la scorie qui résulte de l'action de l'air pendant la fusion, soit convenable au puddlage pour acier. Ainsi nous avons vu puddler avantageusement à Firminy des fontes grises n° 1 renfermant 2 à 3 pour 100 de manganèse et 1 1/2 à 2 pour 100 de silicium. Mais ce cas est rare, et la plupart du temps une fonte grise puddlée sans additions ne donnerait que du fer aciéreux et non de l'acier. C'est le cas du puddlage décrit par M. Lan dans les *Annales des mines* de 1859, et qu'on ne saurait prendre comme type de puddlage pour acier. Pour être certain d'obtenir de l'acier, il faut ajouter dans le bain de puddlage, après la fusion, pendant la période de scorification, un peu d'oxyde de manganèse ou des scories chargées d'oxyde de manganèse. La scorie propre de la fonte grise est suffisamment siliceuse, et on n'a qu'à la charger en oxyde de manganèse pour l'empêcher de se charger en oxyde de fer et de devenir trop décarburante.

Les fontes blanches miroitantes ou spiegeleisen sont toujours assez manganésifères pour n'avoir pas besoin d'addition d'oxyde de manganèse; seulement elles ne forment pour ainsi dire pas de scorie par elles-mêmes à cause de l'absence du silicium. Il faut nécessairement ajouter soit de la silice sous forme de quartz, soit des scories siliceuses ou crues comme celles qui proviennent des fours à réchauffer ou des feux comtois pendant le commencement du travail.

Digitized by Google

Certaines fontes blanches à petites lames, ou rubanées truitées, qui renferment un peu moins de manganèse et un peu plus de silicium que les spiegeleisen, peuvent se traiter sans addition, parce qu'elles fournissent *ver se* une scorie convenable.

D'autres fontes blanches très-pures d'allure froide comme certaines fontes de Styrie et de Carinthie donnent presque sans effort de l'acier puddlé, sans additions, par une sorte de puddlage sec; mais il n'est jamais aussi homogène que celui provenant d'un puddlage en scories.

Les boules d'acier puddlé se confectionnent dans une atmosphère fumeuse et à registre fermé. On les cingle toujours au marteau pilon. Les massiaux cinglés sont tantôt remis de suite dans le four à puddler pour y subir une demi-chaude de ressuage après laquelle on les martèle de nouveau, puis on les étire au laminoir, tantôt ressués dans un four à réchauffer spécial. On met l'acier puddlé sous forme de barres ou de billettes qui sont ensuite reprises pour le corroyage ou pour la fusion après avoir été classées d'après l'examen de leur grain.

Corroyage de l'acier.— Qu'il s'agisse de l'acier naturel au bas foyer ou d'acier puddlé, le corroyage s'effectue de la même façon. Les barres d'acier doivent être mises sous forme de *languettes*, c'est-à-dire de barres plates ayant 6 à 15 millimètres d'épaisseur, soit au marteau, soit au laminoir.

Quand on veut corroyer de l'acier cémenté, on met aussi les barres d'acier poule sous forme de languettes en les chauffant au rouge et en les étirant au marteau.

Une fois les languettes préparées, on compose la *trousse* en en plaçant six à huit les unes sur les autres; on les maintient au moyen de cadres-liens aux extrémités. On chauffe la trousse soit dans un four de chaufferie spécial soufflé, où elle se trouve immergée dans la flamme en reposant seulement sur des appuis en brasque, soit dans un petit four à réverbère à sole de sable. On la saupoudre du reste de sable si l'on veut conserver de l'acier au même degré de dureté.

Digitized by Google

Quand la trousse est à la chaleur soudante de l'acier, on la soude au marteau en frappant d'abord avec ménagement, puis on l'étire en la repassant au feu s'il est nécessaire. L'acier ainsi obtenu est celui qu'on appelle en France *acier corroyé simple marteau*, en Angleterre *single shear-steel*, en Westphalie *raffinirtstahl*, en Styrie et Carinthie *gærbstahl*. Si l'on casse par le milieu une barre de cet acier, et si en superposant les deux moitiés et les réchauffant on soude et on étire de nouveau, on a ainsi un métal plus fin, plus homogène ; c'est l'*acier corroyé double marteau* ou *double shear-steel* ou *zweimal gegærbterstahl;* mais il a l'inconvénient de se fendre quelquefois à la trempe suivant ce joint de seconde soudure. L'*acier triple marteau* se fait avec celui double marteau, et ainsi de suite.

Pour le corroyage de l'acier qui exige des vitesses différentes du marteau, on a longtemps trouvé avantage à se servir de martinets mus par roues hydrauliques que l'on peut aisément gouverner en manœuvrant la vanne. Cependant, dans les usines modernes, on remplace ces martinets hydrauliques par des martinets à cames avec poulies pour plusieurs vitesses ou par de petits marteaux pilons à vitesse variable, comme ceux du système Davy, de Sheffield ou du système Keller et Banning, de Hamm, qui figuraient à l'Exposition.

Les aciers corroyés sont généralement employés pour la taillanderie, comme l'indique le nom de *shear-steel* que leur donnent les Anglais, et celui de *scharsachstahl*, que donnent les Styriens à leurs premières qualités.

On emploie quelquefois le corroyage pour former de grosses pièces d'acier, comme des essieux ou des bandages; le soudage est alors une opération délicate et qui réclame tous les soins de l'ouvrier.

Digitized by Google

DEUXIÈME SECTION

France.

Il reste encore en France quelques aciéries qui fabriquent l'acier naturel dit *d'Allemagne* par l'affinage de la fonte au bas foyer ; mais le nombre en est petit. Elles emploient le procédé de Siegen ou les procédés tyroliens et rivois, suivant qu'elles sont situées sur la frontière allemande ou dans les Alpes. Trois ou quatre autres usines fabriquent des aciers corroyés avec des fers cémentés. Mais le plus grand nombre des aciéries dont nous avons à parler ici emploient le puddlage, et elles sont concentrées sur le bassin houiller de la Loire, où ce procédé de fabrication de l'acier fit son apparition vers 1854, chez MM. Jacob Holtzer et Cᵉ d'abord, si nous sommes bien renseignés.

Dans le Nord, MM. Despret frères, dont nous avons déjà parlé, fabriquent des aciers cémentés corroyés à *Milourd-sur-Anor*.

Dans la Moselle, les *aciéries de Hombourg-haut*, appartenant à MM. Gouvy frères et Cᵉ, fabriquent des aciers naturels et des aciers puddlés avec les excellentes fontes miroitantes de Musen (Prusse). Une autre usine, celle de *Goffontaine*, située en Prusse près de la frontière, appartient à la même maison. Ces deux aciéries fournissaient autrefois en France la majeure partie des aciers dits *d'Allemagne, première marque*, qui n'étaient autres que des aciers naturels corroyés. L'usine de Hombourg comprend 4 feux d'affinerie et 6 fours à puddler, sans parler des fours de corroyage et de réchauffage. Elle traite au bas foyer par la méthode de Siegen des fontes de Musen, et elle exposait en 1867 un des massiaux pointus provenant de la division du gâteau d'acier dans cette méthode, des billettes d'acier naturel brut, des languettes, de l'acier d'Allemagne corroyé à 2 marques pour vis et outils, à 3 marques et à 4 marques pour taillanderie et outils. Elle puddle aussi des fontes de Siegen et exposait des aciers puddlés bruts et raffinés pour dents de trépan, des aciers puddlés

Digitized by Google

corroyés pour ressorts, deux fois corroyés pour essieux d'affûts, sans parler de la taillanderie d'acier, lames de tarière, lames de trépan, ressorts, essieux de chemin de fer, etc.

MM. Dietrich et Cᵉ fabriquent des aciers cémentés corroyés dans leur *usine de Jaegerthal*. A *Mouterhausen*, ils font des aciers puddlés et exposaient en 1867 une série d'échantillons intéressante savoir : une loupe brute d'acier présentant un grain encore un peu inégal, mais déjà remarquable, une barre provenant de loupe laminée, de l'acier puddlé, ressué et laminé, une trousse de cet acier soudée d'un côté, divers échantillons d'acier puddlé martelé à 1, 2 et 3 corroyages, trempés et non trempés, de l'acier puddlé doux pour tiges de piston, de l'acier puddlé dur corroyé pour limes, etc.

Dans les Vosges, quelques petites aciéries fabriquent l'acier naturel avec des fontes prussiennes. Nous citerons *celle de la Hutte*, à MM. Irroy frères et Cᵉ, qui exposait divers aciers cotés aux prix suivants :

Aciers naturels pour outils d'agriculture martelés les 100 kil	60 fr.
Aciers naturels pour tiges et pièces, les 100 kil. .	70 —
— cémentés pour limes, —	65 —
Aciers corroyés suivant le nombre de corroyages, les 100 kil	110 à 140 —

Dans la Côte-d'Or, MM. Cailletet fabriquent à *Villotte* des aciers puddlés au gaz.

Dans les Alpes, il faut citer d'abord *MM. Charrière et Cᵉ*, d'Allevard, qui puddlent au gaz de bois, dans le four dont nous avons donné la description, des fontes de leur fourneau, des fontes de Savoie ou des Pyrénées, et qui corroyent ensuite leurs aciers puddlés en disposant convenablement les variétés dures et douces pour fabriquer des bandages estimés des compagnies de chemins de fer. Les grosses trousses qu'ils sont obligés d'employer se réchauffent dans un feu de chaufferie soufflé qui n'est autre que le feu des corroyeurs d'aciers considérablement agrandi et alimenté avec de la houille. On fabrique annuellement à Allevard en-

Digitized by Google

viron 2 000 tonnes d'acier puddlé qu'on vend sous forme de bandages, ressorts de wagon et de carrosserie, aciers de taillanderie, etc. Les *aciéries de Bonpertuis* (Isère), à M. Alphonse Gourju, fabriquent des aciers naturels affinés, corroyés et fondus avec les fontes de Brignoud et avec les fontes du groupe Sud-Est, par un procédé analogue au procédé tyrolien; elles exposaient aussi des aciers nerveux pour bandages de roues. L'*aciérie du Guas* (veuve Charvet et fils) et *celle d'Alivet* (Poncet et Broquis), toutes deux près de Rives, fabriquent par la méthode rivoise, avec les fontes du groupe des Alpes, des aciers naturels, bruts, corroyés et raffinés, étirés au marteau. En Savoie, M. Leborgne père fabrique à *la Rochette* aussi des aciers naturels bruts et corroyés avec les fontes de la Maurienne. Ces aciers des Alpes sont surtout employés pour la taillanderie : on les cotait en 1867, 75 francs l'acier naturel brut premier choix et 60 francs le second choix, le fer mailletin fin étant coté 45 francs les 100 kilogrammes.

Dans les Pyrénées se trouvent les *aciéries de Sainte-Marie* et *de Pamiers* appartenant à la Société métallurgique de l'Ariége et qui comprennent ensemble 8 fours à puddler, 4 fours à réchauffer, 2 fours de cémentation, 3 trains de laminoirs et les accessoires. On y fabrique annuellement 5 000 tonnes de produits, dont 1500 d'acier puddlé, sans compter 200 tonnes environ d'acier corroyé fabriqué avec des fers de l'endroit et des fers catalans du voisinage. Les prix des produits de ces usines étaient en 1867 : 30 francs les 100 kilogrammes pour les fers fins laminés Ariége, 36 francs pour les fers fins laminés supérieurs, 35 francs pour les aciers puddlés laminés, 40 francs pour les aciers puddlés étirés, 50 francs pour les aciers cémentés étirés, 100 à 125 francs pour les aciers corroyés, 130 francs pour les aciers fondus. Tous ces produits proviennent des fontes des hauts fourneaux de Pamiers et Tarascon fabriquées avec le minerai de Rancié, et leur qualité les fait rechercher surtout pour les usages de l'agriculture et pour la fabrication des ressorts.

Digitized by Google

Les aciéries dont il nous reste à parler sont situées dans le département de la Loire, autour de Saint-Étienne, et elles sont les plus importantes.

*MM. Petin, Gaudet et C*e, dans leur grande *usine de Saint-Chamond*, fabriquent des aciers puddlés et des fers fins avec les fontes de Toga et de Givors. Cette usine comprend : 60 fours à puddler, 40 fours à réchauffer, 4 trains de puddlage, 3 gros mills (rails, cornières, fers profilés), 1 moyen mill, 2 trains de tôlerie, 1 train à blindages, 1 train pour grands fers à poutrelles de toutes hauteurs, 3 trains à bandages, 1 train à roues pleines; la force totale des moteurs pour ces trains et leurs accessoires s'élève à 3 000 chevaux. La production de l'usine de Saint-Chamond comprend plus de fers aciéreux que d'aciers puddlés proprement dits. Ces fers sont livrés sous forme d'essieux montés pour chemins de fer, d'arbres et d'essieux droits ou coudés, de blindages de navires, de canons, de frettes, etc. MM. Petin, Gaudet et Ce ne livrent pas au commerce d'aciers puddlés bruts ou corroyés sous forme de barres : tous leurs aciers sont fondus, sauf ceux qui proviennent du corroyage d'aciers cémentés.

Les *forges et aciéries de Firminy*, fondées par MM. F. Verdié et Ce, comprenaient, en 1867, 20 fours à puddler ordinaires, 2 fours à puddler système Siemens, 20 fours à réverbère, 18 fours à ressuer, corroyer et étirer, 5 trains de laminoirs, 1 train à bandages, etc., sans compter la fonderie d'acier. On y traite au puddlage des fontes fabriquées à Givors chez MM. Harel et Ce avec des minerais de Mokta-el-Hadid : ces fontes ne permettent que cinq charges en douze heures. Les fers et aciers puddlés servent à fabriquer des ressorts, des bandages, des essieux; dans certains cas on cémente les barres d'acier puddlé pour augmenter leur dureté et on en fait de l'acier fondu. MM. F. Verdié et Ce avaient exposé, en 1867, des fers fins (entre autres une boule de 288 kilogrammes sans soudure), des aciers puddlés (une boule de 252 kilogrammes sans soudure), des ressorts, essieux, bandages, etc.

MM. Jacob Holtzer et Ce, d'Unieux, produisent 4 500 ton-

Digitized by Google

nes d'acier puddlé par an, en traitant les fontes de leurs hauts fourneaux de Ria (Pyrénées-Orientales), et, en outre, 1 500 tonnes de fers fins, 800 tonnes d'acier corroyé, sans compter les aciers fondus. Les aciers puddlés servent pour la fabrication des ressorts, taillanderie, outils agricoles, coutellerie, faux, faucilles, etc.; les aciers corroyés, pour les manufactures d'armes blanches et la taillanderie. Les aciéries d'Unieux exposaient en 1867 des fers fins ayant un beau nerf argentin et supportant bien les essais à chaud et à froid, des fers à fin grain, de l'acier puddlé en massiau, de l'acier corroyé pour taillanderie également en massiau, etc.

MM. Limouzin frères, de Firminy, *MM. Bouvier fils et Ce*, du Chambon-Feugerolles, fabriquent aussi des aciers naturels, corroyés, fondus, et de la taillanderie.

D'après le *Bulletin du Comité des forges de France*, la France a produit, en 1864, 24 552 tonnes d'acier naturel de forge ou puddlé, et 6 977 tonnes d'acier de cémentation. La production de cette dernière nature d'acier est en diminution; son chiffre dépassait 11 000 tonnes en 1862.

TROISIÈME SECTION

Grande-Bretagne et Belgique.

La fabrication des aciers puddlés a été importée en Angleterre par Riepe dès 1850, mais elle n'a pas eu dans ce pays le succès qu'on aurait pu attendre, sans doute à cause de la qualité peu appropriée de la majeure partie des fontes anglaises. Cependant il existe maintenant un certain nombre de grandes usines qui ont une fabrication analogue à celle de l'usine de Saint-Chamond, en France, et qui fabriquent des fers aciéreux et des aciers puddlés, soit avec les fontes indigènes du Yorkshire, soit avec des fontes étrangères (Suède, Norwége, Nouvelle-Écosse, Prusse). Ces usines sont presque toutes dans le Yorkshire, autour de Sheffield et de Leeds.

En premier lieu, nous devons indiquer l'*Atlas Steel and*

Digitized by Google

Iron Works (aciéries et forges d'Atlas), à Sheffield, appartenant à MM. John Brown et Ce. Cette immense usine, que nous avons visitée récemment encore, comprend, sans parler de la fonderie d'acier et des convertisseurs Bessemer, 72 fours puddler, 80 fours à réchauffer, 40 marteaux pilons, 16 trains de laminoirs et toutes les machines outils, grues, ventilateurs, martinets, etc., avec 84 machines à vapeur alimentées par 85 chaudières; elle consomme par semaine environ 3000 tonnes de fonte et 5000 tonnes de houille. Elle produit des fers fins de première qualité pour la fabrication des bandages, des blindages, des tôles supérieures, des rails spéciaux, des aciers puddlés cémentés pour les ressorts de wagons : les plaques de blindage seules représentent un tonnage annuel de 15 000 tonnes environ. Nous indiquerons en passant deux particularités qui nous ont frappé dans notre dernière visite. La majeure partie des marteaux pilons est de 10 tonnes; on considère ce poids comme essentiel pour obtenir de bons fers; plusieurs pèsent 12 tonnes, et le plus lourd est de 20 tonnes; leurs bâtis sont presque tous en tôle; ils ont été construits pour la plupart chez MM. Thwaites et Carbutt, de Bradford, mais le bâti en tôle a été imaginé à Atlas Works. Une autre particularité est ce que l'on peut appeler le *cimetière des cylindres*. A Atlas Works il n'y a pas de dépôts de cylindres dans les cours. Les cylindres démontés sont emmagasinés dans la forge elle-même au moyen de fosses en maçonnerie situées au-dessous des passages et recouvertes de plaques de fonte. Grâce à cette disposition, on peut très-rapidement et très-aisément prendre dans ce dépôt souterrain une paire de cylindres dont on a besoin et la remplacer par la paire que l'on démonte. MM. John Brown et Ce avaient, en 1867, une exposition très-remarquable de matériel de chemins de fer et de matériel de guerre. M. John Brown, qui a été dernièrement fait baronnet par la reine d'Angleterre, est fils de ses œuvres comme MM. Petin, Gaudet et Ce, en France; il était, il y a une vingtaine d'années, un simple petit fabricant de ressorts à Sheffield.

Digitized by Google

MM. Charles Cammell et Ce, propriétaires des aciéries du Cyclope (*Cyclops Steel Works*), de l'aciérie de Grimsthorpe et de celle de Penistone, sont les émules de MM. J. Brown et Ce. Leurs trois usines réunies ont une importance qui dépasse celle d'Atlas Works, et leur genre de fabrication est le même. Ils possèdent 110 fours à puddler, 36 trains de laminoirs, près de 70 marteaux pilons, dont un grand nombre de 7 tonnes; le plus lourd pèse 25 tonnes. Ils ont aussi installé une presse hydraulique à forger, système Haswell, construite en Angleterre, à Kirkstall, et donnant une pression de 1 250 tonnes au moyen d'un piston ayant 90 millimètres de diamètre. Cyclops Works comprend encore une importante fonderie d'acier avec de nombreux appareils Bessemer.

On trouve encore à Sheffield un très-grand nombre d'aciéries qui fabriquent des aciers corroyés de première qualité avec des aciers cémentés de même nature que ceux qui servent pour l'acier fondu. Il serait oiseux d'indiquer tous les noms, et nous dirons seulement que MM. Burys et Ce et MM. Turton et fils, dont nous avons déjà parlé, exposaient en 1867 des aciers corroyés et des outils tranchants d'une fabrication irréprochable.

MM. Spencer et fils, de Newcastle, fabriquent des aciers cémentés corroyés. Les forges de Bowling, Monkbridge, Clarence, dans les environs de Leeds, fondent au creuset, comme nous l'avons déjà dit, des aciers puddlés provenant de leurs fontes fines du Yorkshire : elles exposaient de belles cassures de fers et d'aciers puddlés.

A Liverpool, les *forges et aciéries de la Mersey* ont les premières en Angleterre employé sur une grande échelle le puddlage pour acier et pour fers à fin grain; elles ont acquis une grande réputation, surtout pour les pièces de forge en fer ou en acier puddlé. Elles ne figuraient pas à l'Exposition de 1867; mais à Londres, en 1862, on pouvait voir de magnifiques spécimens de leur fabrication, qui est analogue à celle des usines de Saint-Chamond et Rive-de-Gier, en France.

En Belgique, on ne fabrique guère d'acier puddlé propre-

Digitized by Google

ment dit, quoique plusieurs usines, comme celles de Seraing, Sclessin, Montigny, fabriquent des fers à fin grain plus ou moins aciéreux.

QUATRIÈME SECTION

Prusse et Allemagne.

La Prusse rhénane est, comme nous l'avons déjà dit, un pays producteur d'acier par excellence; on y compte un très-grand nombre d'usines fabriquant des aciers naturels affinés ou puddlés, sans compter les fabriques d'acier fondu dont nous avons déjà parlé. La section prussienne de l'Exposition de 1867 était extrêmement remarquable et instructive sous le rapport de l'acier. La grande masse de la fabrication, comme des produits exposés, se compose d'acier puddlé; toutefois le nombre des producteurs d'acier au bois est encore considérable. En 1868 les États prussiens ont produit :

Acier affiné brut au charbon de bois.	1 263	tonnes.
— de cémentation brut	600	—
— puddlé	27 288	—
— fondu (Bessemer, creuset, etc.).	88 219	—
— corroyé.	4 987	—

En 1862, la production d'acier affiné au charbon de bois était un peu plus considérable et atteignait 1 500 tonnes environ. Cet acier est fabriqué au moyen des fontes miroitantes (*rohstahleisen*) ou fontes à acier dont nous avons déjà parlé dans notre première partie, et par la méthode d'affinage de Siegen. Les principales usines qui le produisent sont celles de *Goffontaine* (Gouvy et Cᵉ), de *Limburg-sur-la-Lenne*, de *Milspe* (Sternenberg frères), de *Lohe* (Compagnie de Cologne-Müsen), de *Schœnthal* (Harkort et Gravemann), toutes dans les provinces du Rhin.

La majeure partie des aciéries prussiennes est placée sur le bassin houiller de la Ruhr. Nous avons déjà parlé de celles d'Essen et de Bochum, qui ne fabriquent d'acier puddlé que

Digitized by Google

pour le fondre ensuite. A *Ruhrort*, la Société du Phénix, à *Hattingen*, la Heinrichshuette, puddlent pour acier, afin d'en faire des rails.

Une des aciéries proprement dites les plus remarquables, est celle de *MM. Harkort et Gravemann*, près de Wetter-sur-la-Ruhr. Dans cette usine, dont nous avons indiqué ailleurs la consistance, on fabrique, outre l'acier fondu au creuset, l'acier affiné, l'acier puddlé et l'acier cémenté corroyé, sous forme de barres et de tôles. M. Harkort exposait en 1867 de l'acier au charbon de bois, une fois et deux fois corroyé, avec une très-belle cassure à grains fins, de l'acier puddlé une fois raffiné, avec une texture un peu plus lâche, de l'acier cémenté et de l'acier puddlé de diverses duretés, en barres plates, de l'acier cémenté martelé dit *acier de Milan*, en barres carrées, de l'acier cémenté, étiré et trempé dit *de Milan* ou *de Brescia* (petites barres carrées de 10 à 12 millimètres, qui se vendent en barils quand elles sont courtes, en caisses quand elles sont plus longues), de l'acier fondu, de l'acier à limes; en outre des barres d'acier puddlé pour lames de canifs terminées par une lame forgée, des tôles d'acier puddlé pour scies et pour fourreaux de sabres, des lames de sabre et de scies, des cuirasses en tôle d'acier fondu, etc., sans parler des tôles de fer doux planes ou embouties pour moules à pâtisserie.

Les *aciéries de MM. Asbeck, Osthaus, Eicken et Ce*, près Hagen, fondées en 1853, sont au nombre des plus anciennes fabriques d'acier puddlé de Westphalie. Ils ont les premiers livré au commerce l'acier puddlé appliqué aux ressorts de voitures et de wagons, et en ont fait une spécialité. Leur acier pour ressorts a un grain très-semblable à celui de l'acier fondu, auquel il est comparable pour son homogénéité et sa ténacité; d'après eux, les ressorts en acier puddlé supportent beaucoup mieux les grands froids sans rupture que ceux en acier fondu. Ils fabriquent aussi des lames de couteaux pour papeterie et pour piles à cylindre, et divers objets de taillanderie. Ils livrent en nature diverses espèces d'acier, entre autres l'acier de Milan, acier de Brescia ou

Digitized by Google

indian-steel, en barils ou en caisses, qui servent à fabriquer de petits objets dans les contrées exotiques où on l'exporte. Leurs tôles d'acier pour chaudières, fabriquées sans soudure, et pour construction de ponts, sont aussi estimées; elles présentent une résistance absolue de 100 à 110 kilogrammes par millimètre carré, d'après leur prospectus. Ils ne fabriquent des fers fins que pour la fabrication d'armes et l'exportation. Leur exposition présentait deux trousses à demi corroyées : l'une pour rasoir comprenant 25 mises carrées de 12 millimètres environ; l'autre pour sabre 100 mises carrées de 8 millimètres. Les aciéries de M. Asbeck et Ce produisent annuellement environ 5 000 tonnes d'acier et 750 tonnes de fer; elles occupent 300 ouvriers. Elles ont en activité 10 machines à vapeur d'une force totale de 300 chevaux, 14 fours à puddler dont 12 pour acier, 6 fours à réchauffer, 2 fours de cémentation d'une contenance de 37 500 kilogrammes chacun, un laminoir à tôle, un train de puddlage, 1 train marchand, 4 marteaux pilons et une batterie de 3 martinets pour le corroyage et l'étirage de l'acier.

Les *aciéries de Limburg-sur-la-Lenne*, fondées en 1846, ont eu la médaille de première classe à l'Exposition de 1855; en 1862, elles comprenaient 6 fours à puddler, 2 fours à réchauffer, 2 feux d'affinerie et 48 feux de forge, avec les marteaux et laminoirs nécessaires. Actuellement elles fabriquent plus de 4 000 tonnes par an d'aciers puddlés, affinés et cémentés pour la fusion ou le corroyage. Elles envoient jusqu'aux Indes et en Chine l'acier de Milan (*milanostahl*) fabriqué spécialement pour l'exportation. *M. Schmale*, à Rüggeberg, *MM. Brüninghaus frères et Ce*, à Werdohl, *MM. Moritz Helbenbeck et Ce*, à Milspe, *MM. C. H. Kuhlmann et Ce*, à Gevelsberg, *MM. Goebel frères*, à Voerde, *M. A. Mannesmann*, à Remscheid, et d'autres encore possèdent des aciéries moins importantes qui fabriquent l'acier en barres, les limes, les outils, la taillanderie, les faux, les lames, les faucilles, etc. Toutes ces usines sont situées dans la Westphalie proprement dite et dans le voisinage de Remscheid, Solingen, etc.

Digitized by Google

Le pays de Siegen possède aussi quelques usines à acier. La plus connue est celle de *Lohe* appartenant à la compagnie de Cologne-Musen, et qui fabrique avec les spiegeleisen du Stahlberg des aciers puddlés et quelques aciers affinés. Elle exposait, en 1867, des coupes et des barres de ces deux espèces d'acier, classées en *edelstahl* (acier noble), ou qualité supérieure trempée, et en *mittelkuhr*, ou qualité moyenne, suivant l'usage du procédé siégenien. La compagnie de Cologne-Musen accusait une production annuelle de 3 000 tonnes d'acier, mais nous croyons qu'elle exagérait beaucoup. La *compagnie de Lenne et Ruhr* fabrique à Altenhunden des aciers affinés et puddlés avec les fontes de M. Boerner, de Siegen. La maison *Dresler senior* fabrique aussi des aciers puddlés à Geisweid, et *M. Goebel* à Meinhardt, près Siegen. A Dahl, près Hagen, *M. Carl Jung* affine et puddle pour acier les fontes miroitantes de Müsen et de Wendenerhutte.

En Silésie, la *Laurahuette*, au comte de Donnersmark, et la *Minerva*, fabriquent aussi des aciers puddlés, mais les fontes de ce pays sont peu aciéreuses de leur nature.

Dans le grand-duché de Bade, *M. Wunsk* fabrique, à Constance, environ 30 000 kilogrammes par an d'acier raffiné au charbon de bois, avec des fontes de Styrie; il les cotait, en 1867, 84 à 130 francs les 100 kilogrammes.

Dans le Wurtemberg se trouvent deux belles aciéries, celle de *Friedrichstahl*, appartenant au roi, où l'on fabrique des aciers fondus et raffinés pour faux et lames de sabre, et celle de *Neunbourg* (M. Haueisen et fils), qui a la même spécialité.

En Bavière, l'*aciérie de Kiefer*, entre Rosenheim et Kufstein, appartient à l'empereur d'Autriche, et fabrique des aciers affinés et corroyés au charbon de bois.

CINQUIÈME SECTION

Empire d'Autriche.

L'Autriche, grâce aux minerais supérieurs de l'Erzberg en Styrie, et de l'Huttenberg, en Carinthie, est un pays pro-

Digitized by Google

ducteur d'acier. En 1865, ses usines fournirent 21 840 tonnes d'acier de diverses sortes, dont 3 594 tonnes furent exportées, et depuis cette année jusqu'à présent, l'importance de la fabrication a augmenté. Les aciéries sont surtout situées en Styrie et en Carinthie, et les procédés varient avec les endroits.

En Styrie, on fabrique l'acier soit au bas foyer et au charbon de bois par le procédé styrien, soit au four à réverbère chauffé au lignite ou au ligneux par le puddlage. En Carinthie et dans les Alpes qui séparent la Styrie de la Carinthie, on emploie soit le puddlage, soit le procédé carinthien; une seule usine se sert du procédé de Paal. Dans le Tyrol, quelques petites usines affinent pour acier par l'ancien procédé tyrolien.

Les *usines de Leoben* (en y comprenant leurs dépendances dont nous avons déjà donné le détail), appartenant à M. Franz Mayr, peuvent fabriquer dans leurs aciéries 1 700 tonnes d'acier cémenté, 1 150 tonnes d'acier corroyé par an. Leurs aciers en barres forment diverses catégories qu'il peut être utile d'indiquer :

Aciers affinés bruts, de Styrie, classés en : acier pur, acier léger (*müller stahl*), mock dur, moyen et doux, livrés en barres carrées de 30 à 40 millimètres, 59 francs à 36 francs les 100 kilogrammes.

Aciers puddlés, 65 francs à 70 francs les 100 kilogrammes.

Aciers corroyés de Styrie, classé en : aciers à meules (*mühlstahl* ou *scharsachstahl*), qui se livrent en petites barres et en caisses d'un quintal; aciers *au sapin*, qui se livrent en barres de 2m,50 environ mises en bottes d'un quintal; aciers corroyés pour limes, lames, etc., en dimensions diverses, 104 francs à 79 francs les 100 kilogrammes.

Fers aciéreux (*mittelzeug*) corroyés, laminés ou étirés, ressorts de carrosserie corroyés, etc., 56 francs à 120 francs les 100 kilogrammes.

Aciers cémentés bruts, 51 francs à 58 francs les 100 kilogrammes.

Aciers cémentés, laminés, étirés, flames de scie, ressorts

Digitized by Google

de wagon, etc., 65 francs à 84 francs les 100 kilogrammes.

Outre les aciers en barres, les aciéries de Leoben livrent au commerce des pièces finies comme des ressorts spiraux, système Baillie, pour wagons de chemin de fer, des pièces de charrue, des scies en aciers corroyés sans fusion.

L'*usine royale de Neuberg* fabriquait encore, en 1867, quelques aciers puddlés ; mais celles de l'*Innerberg* avaient plus d'importance sous ce rapport et fournissaient 672 tonnes d'aciers puddlés et 1680 tonnes d'acier corroyé au charbon de bois. Les aciers styriens d'Innerberg, fabriqués avec les fontes d'Eisenerz, dans les affineries de Weyer-sur-Ems (haute Autriche), ont une réputation très-antique et très-étendue. Ils étaient cotés en 1867 comme suit pour les 100 kilogrammes :

Acier brut.	47 fr.	env. les 100 kil.
— une fois corroyé (*scharsach* ou *mühlstahl*, n° 2).	89 —	—
— deux fois corroyé. . . .	113 —	—
— trois fois corroyé. . . .	140 —	—

On fait aussi à *Reichramig* des aciers puddlés avec les fontes d'Eisenerz.

M. de Fridau puddle aussi pour acier dans sa forge de *Donawitz*, aux portes de Leoben ; ses aciers puddlés servent surtout pour la fabrication des faux, ainsi que ses aciers cémentés et corroyés. — Dans la chaîne de montagnes qui sépare la Styrie de la Carinthie se trouvent un peu disséminées les *forges et aciéries du prince de Schwarzenberg*, dont la direction centrale se trouve dans la petite ville de Murau, et où se trouvent associées la fabrication de l'acier Bessemer, celle de l'acier puddlé et celle de l'acier affiné au charbon de bois par trois procédés différents : celui de Paal, celui de Carinthie et celui de Styrie. Leur production annuelle est de 1 700 tonnes d'acier naturel et corroyé, 1 000 tonnes d'acier Bessemer et 800 tonnes de fers au bois.

L'*acier de Paal* est le meilleur acier naturel connu ; en même temps qu'il est le plus dur (sauf l'acier Wootz) et le

Digitized by Google

plus homogène, il est aussi le plus élastique. En considérant un degré quelconque de dureté, l'acier de Paal possède plus d'élasticité qu'aucune autre espèce d'acier de même dureté, même que le meilleur acier fondu anglais. On le livre au commerce en barres brutes et en barres corroyées ; les dernières ont plus d'élasticité et moins de dureté. On recommande, pour cet acier, comme aussi pour la plupart des aciers styriens ou carinthiens, de chauffer moins les barres pour le travail et de tremper plus doux les objets fabriqués qu'on ne le fait pour les aciers anglais ou allemands, parce que par leur nature ils sont déjà plus durs que ceux-ci. Les aciers de Paal se fabriquent à Paal, village situé dans la montagne à quelques lieues de Murau. Ils se classent, suivant leur qualité, en diverses catégories :

Le *münzstahl long* est la meilleure sorte et se livre en barres trempées de 3 pieds de long environ, carrées, de 15 à 18 millimètres, qui doivent être sans aucun défaut. Cette longueur est une garantie que l'affinage a été particulièrement bien réussi. La trempe se fait au sortir du marteau. On l'emploie notamment pour les coins de monnayage.

Le *münzstahl court* est en barres trempées de 2 pieds de long seulement ; la qualité est presque la même que celle du précédent.

Le *dupfstahl* 3, trempé, ne doit présenter aucun point mou.

Le *dupfstahl* 2, trempé, a quelquefois sur sa surface un défaut ou dans sa cassure un peu de grain mou, mais jamais de veines ferreuses.

Le *dupfmock* 3 *trempé*. On appelle en général *mock* les aciers qui présentent dans leur cassure des parties ferreuses plus ou moins grandes ; comme ces irrégularités de dureté peuvent disparaître par le corroyage, ces aciers de seconde qualité, qui se vendent beaucoup moins cher, trouvent encore passablement de débouchés. Le *dupfmock* 2 est plus ferreux que le 3, et sa surface est aussi plus défectueuse.

Le *romanstahl* (acier romain), en barres carrées de 20 millimètres, est de très-bonne qualité et se vend aussi trempé. Le *romanmock* est plus ferreux et est une deuxième qualité.

Digitized by Google

Le *pflugstahl* (acier à charrue), en gros carrés de 30 millimètres au moins, a la même qualité que le romanmock. Il sert à aciérer les outils agricoles, et se vend trempé.

Le *greifelstahl* (bouts de barres) et le *bröckelstahl* (fragments provenant du classement), non trempés, sont recherchés pour le corroyage et surtout pour la fabrication de l'acier fondu.

Les *aciers brescians* ou *carinthiens* se fabriquent avec les mêmes fontes que les aciers de Paal ; ils sont d'une qualité un peu moindre sous le rapport de l'homogénéité ; on les emploie surtout en corroyés et on a alors un acier très-dur, et en même temps très-élastique et très-flexible. Voici leurs diverses catégories :

a. Le *stuckstahl T S*, trempé au sortir du marteau, en barres carrées de 30 à 40 millimètres de côté. C'est la première qualité, sans aucune partie tendre, qui s'emploie pour la coutellerie fine.

b. Le *stuckstahl N S*, aussi trempé au sortir du marteau, en barres carrées de 20 à 30 millimètres, est de la même qualité que le précédent : on l'emploie pour la fabrication des faux, faucilles et hache-paille. Il présente sur la cassure des taches sombres qu'on appelle *roses*, et qui, si la trempe a été bonne, indiquent généralement une quantité d'acier régulièrement dure. Comme tous les aciers trempés au sortir du marteau et par cela même très-cassants, le stuckstahl s'expédie en caisses.

Les *stuckstahl* se livrent aussi non trempés, en barres plus longues, bottelées. Les fabriques de faux les préfèrent souvent ainsi parce que ces longues barres se manient plus aisément et mieux dans le feu que les barres trempées plus courtes. Les objets fabriqués deviennent après une trempe aussi durs que s'ils étaient faits avec le stuckstahl trempé.

Le *tannenbaumstahl* (acier au sapin) n'est pas trempé ; c'est celui qu'on emploie dans tout l'empire d'Autriche pour l'aciération des outils et objets divers. C'est la même qualité que le stuckstahl ; les dimensions seules diffèrent. Nous en dirons autant pour les aciers à limes.

Digitized by Google

Le *brescianstahl*, qui se vend non trempé, est classé en six qualités d'après la dureté et les dimensions ; le plus homogène est le plus dur, ayant la section la plus faible (7 à 8 millimètres de côté). La majeure partie s'exporte en Orient.

Le *streck*, *kern* ou *azzalonstahl* est un acier de première qualité trempé en barres plates. Le *streckmock*, avec quelques veines ferreuses, s'emploie surtout corroyé.

Les *stuckmock* sont les deuxièmes qualités des *stuckstahl* et s'emploient surtout pour la fabrication des faux.

Le *zähermock* est encore plus ferreux : c'est un troisième choix de *stuck* ou de *streckstahl* ; on l'emploie soit pour des objets de qualité médiocre, soit pour la fabrication de l'acier fondu.

Le *bröckelstahl* (bouts de barres provenant du classement) et les *refudi* (riblons) sont d'excellents matériaux pour la fabrication de l'acier fondu.

Les aciers fabriqués par le procédé styrien, comme ceux obtenus par le puddlage, se classent aussi en *stuckstahl* et en *mock*.

Les aciers corroyés se fabriquent avec les aciers de Paal, de Carinthie ou de Styrie, lorsqu'on veut augmenter l'élasticité en même temps que l'homogénéité ; on va quelquefois jusqu'à trois corroyages. On les classe comme suit :

Les *sehersackstahl* (acier à lames) sont les premières qualités et s'obtiennent à un, deux ou trois corroyages.

Les *hackenstahl* (acier à pioches ou à limes) sont des secondes qualités qu'on ne corroye ordinairement qu'une fois. Il en est de même des aciers à ressorts de voiture, à bandages, à ressorts.

On fabrique aussi dans les affineries du prince de Schwarzenberg des fers aciéreux de diverses qualités qui servent pour la cémentation, pour les sabots de voiture, pour des axes de meule, pour des bandages, etc.

Voici les prix sur place, en 1867, de quelques-uns des aciers de Murau :

Münzstahl long Paal.	120 fr. les 100 kil.

Digitized by Google

Münzstahl court Paal	83 fr.	50	les 100 kil.
3. Dupfstahl Paal.	74	25	—
3. Dupfmock Paal	53	35	—
Romanstahl Paal.	53	85	—
Brœckelstahl Paal	46	40	—
Stuckstahl, carinthien, trempé T. S.	51	00	—
Tannenbaumstahl non trempé . .	47	80	—
Brescianstahl trempé	54,75 à 47	80	—
Azzalonstahl.	55	70	—
Stuckmock trempé	44	00	—
Zæhermock	40	37	—
Brœckelstahl carinthien.	37	10	—
Stuckstahl styrien pudd., trempé.	47	35	—
Mock styrien puddlé, trempé. . .	41	75	—
Scharsachstahl, à trois marteaux.	116	00	—
— à un marteau . .	83	50	—
Acier à faux de 3e qualité. . . .	58	00	—
Fer à cémenter.	32	50	—
Fers doux ordinaires.	30,15 à 50	00	—

Les *usines impériales et royales d'Eibiswald*, près Gratz, l'*aciérie de Kremz*, près Gratz, appartenant au comte de Meran, celle de *Klein-Hollenstein*, appartenant à la ville de Waidhofen sur l'Ybbs, fabriquent aussi des aciers affinés et puddlés et exposaient en 1867 des barres, des ressorts, des lames de scie, etc. A Gradenberg, *M. Mitsch* fabrique quelques aciers puddlés au lignite de Koeflach. Le comte de Thurn possède l'*aciérie de Streitleben* (Carinthie, où l'on fabrique des aciers brescians, azzalon, etc., pour l'exportation et pour l'Italie.

Dans le Tyrol, l'*usine I. et R. de Pillersée* fabrique des aciers naturels par le procédé tyrolien avec ses fontes miroitantes.

La haute Autriche était représentée à l'Exposition par les aciers naturels de *Taja Graben*, usine appartenant au couvent de Saint-Lambrecht; la Transylvanie, par deux barres grossièrement étirées provenant de l'usine de *Thoroczko* (M. Friedrich Wagner).

La Société impériale royale privilégiée des chemins de fer

Digitized by Google

de l'État exposait des bandages en acier puddlé cintrés et soudés, des essieux en acier puddlé, fabriqués dans ses usines de Hongrie (Reschicza, Anina).

SIXIÈME SECTION

Autres provenances.

La fabrication de l'acier naturel n'existe en Suède que dans une seule usine à *Graninge* (Wester-Norrland); on y fabrique de la fonte avec une allure si chaude, dit M. Rinman, que le haut fourneau ne peut marcher avec sa petite charge que quelques jours à la fois, parce qu'il y a des matières infusibles qui s'accumulent peu à peu dans le creuset. A *Nyby*, *Nykœping*, on fabrique quelquefois de l'acier puddlé; mais cette fabrication n'a pas non plus d'importance. Celle de l'acier cémenté en a plus (4 500 tonnes en 1864); les principales usines sont dans la province de Carlstad, comme *Lesjoefors* (qui vend son acier 57 francs les 100 kilogrammes), *Uddeholm*, *Biœrneborg*, etc. Les autres sont un peu disséminées comme *Forsbacka* (Gefleborg), *Svana* (Westeras), *Bofors*, *Hellefors* (Orebro), *Skepsta* (Nykœping), etc. L'*usine d'Œsterby* (Upsal) vend ses aciers cémentés, qui sont les plus durs de Suède, faits avec des fers de Dannemora, au prix de 86 francs les barres brutes, et 95 francs les barres étirées au martinet pour les 100 kilogrammes pris à l'usine.

La Russie ne fabrique pas d'acier naturel par l'affinage au bas foyer; mais seulement quelques aciers puddlés, à l'*aciérie de Votkinsk* (Viatka) appartenant à l'État, par exemple, qui cotait en 1867 ses produits 34 francs à 87 francs les 100 kilogrammes. Trois ou quatre autres aciéries fabriquent de l'acier par cémentation : nous citerons l'*usine de Katav-Ivanovsk* (Oufa), au prince Belosselsky-Belozersky (45 francs les 100 kilogrammes d'acier puddlé), l'*usine de Taguil* (Perm), au prince Demidoff (qui cotait 65 francs à 82 fr. 50 ses aciers cémentés étirés au marteau), et celle de Votkinsk déjà nommée.

Digitized by Google

Le royaume d'Italie possède, surtout dans les vallées lombardes, quelques feux qui produisent de l'acier naturel au charbon de bois avec les excellentes fontes du pays, en employant des procédés plus ou moins analogues à ceux de Carinthie dits *brescians*. M. Angelo Milesi exposait des aciers affinés et étirés en petites barres dans sa *forge de Gromo* ; ces aciers sont plongés pendant l'étirage dans la fonte liquide de l'opération suivante, afin de rendre par cémentation le carbone nécessaire. *M. Jean Glisenti*, de Brescia, fabrique des aciers de même nature, qu'il transforme en outils, limes, rasoirs, etc. A Castro, *M. Gregorini*, de Lovère, fabrique des aciers puddlés au gaz dans un four Siemens, alimenté par la tourbe ou le lignite, et les lamine pour barres ou pour ressorts. Le professeur Mascolo, de Naples, exposait en 1867 des aciers cémentés et puddlés ; mais nous ignorons s'il les avait fabriqués. Quoi qu'il en soit, l'importance de la fabrication de l'acier naturel, puddlé ou cémenté, en Italie, n'est pas considérable (1 342 tonnes en 1865).

L'Espagne, d'après son catalogue officiel, comptait en 1862 21 fours pour acier et produisait 162 tonnes de ce métal par cémentation. Nous ne connaissons que l'*aciérie de Trubia*, appartenant à l'État et comptant 2 fours de cémentation.

Nous ne pouvons rien dire sur la fabrication de l'acier naturel aux États-Unis ; nous savons seulement que l'usine de Trenton puddle pour acier.

CHAPITRE TROISIÈME

FABRICATION DE L'ACIER BESSEMER.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur la fabrication.

Historique. — C'est en 1854 que M. Henri Bessemer, déjà bien connu en Angleterre et même en France, comme un chercheur et un inventeur plein d'imagination, fut amené par di-

Digitized by Google

verses circonstances à s'occuper de fabrication d'acier. Après diverses patentes inutiles à rappeler ici, il prenait, le 17 octobre 1855, une patente *pour le traitement de la fonte de première ou de deuxième fusion, ou du fine metal, par l'injection dans le sein de la masse fondue de jets d'air ou de vapeur, ou d'air et de vapeur, de telle sorte qu'elle est rendue malléable, acquiert les autres propriétés de l'acier fondu, et peut être encore versée à l'état liquide dans des moules convenables.* Il ne pensait pas encore à ce moment à supprimer le combustible de chauffage extérieur. Ce n'est que dans sa patente du 12 février 1856 qu'il indique la suppression totale de toute consommation de combustible, et en août de la même année, il lisait à l'Association britannique pour le progrès des sciences, réunie à Cheltenham, un mémoire auquel il avait donné ce titre à l'aspect paradoxal : *Fabrication du fer et de l'acier sans combustible*, et dans lequel il racontait ses expériences à jamais célèbres de Baxterhouse. Ce mémoire excita une émotion immense chez les métallurgistes, qui se divisèrent en deux camps : les adversaires et les partisans du nouveau procédé. Baxterhouse fut pendant quelque temps rempli de visiteurs. Mais bientôt le silence se refit sur M. Bessemer et ses recherches ; il avait échoué dans ses tentatives pour produire de l'acier convenable avec les marques ordinaires de fonte ; les praticiens l'écrasaient de leurs plaisanteries, et les hommes de science niaient qu'il y eût un progrès dans son procédé. M. Bessemer ne se découragea pas. Dès 1857, il implantait sa fabrication dans une usine à lui à Sheffield, au centre de ses concurrents : la même année voyait des appareils établis en Suède, à Edsken, par M. Goerassan de Gèfle. En 1858, le procédé faisait son apparition en France dans l'usine de MM. James et William Jackson, à Saint-Seurin-sur-l'Isle. Enfin, en 1859, M. Bessemer se présentait devant l'Institution des ingénieurs civils de Londres avec un mémoire qu'il appuyait de faits patents et d'expériences officielles, et qui, malgré des oppositions et des critiques encore violentes, a établi d'une façon péremptoire l'existence bien réelle d'un nouveau mode d'affinage appelé

Digitized by Google

à jouer un grand rôle dans l'industrie du fer. En 1861, M. Bessemer entrait complétement dans la pratique industrielle, et l'Exposition de 1862 révélait la multiplicité des applications du nouveau métal par la magnifique collection d'échantillons exposée par l'inventeur. Depuis cette date, le procédé s'est perfectionné, s'est répandu, et à l'Exposition de 1867, le jury international décernait avec justice à M. Henri Bessemer la plus haute distinction.

De la nature des fontes employées. — Il n'y a pas bien longtemps que l'on a appris à reconnaître, d'après leur composition, quelles sont les fontes convenables pour le procédé Bessemer, et à en fabriquer spécialement. Auparavant on en était réduit à essayer les unes après les autres les fontes que l'on avait à sa disposition, sans pouvoir dire *à priori* quelles étaient celles qui ne donneraient aucun bon résultat.

Les fontes à Bessemer doivent satisfaire à deux conditions indispensables : 1° être assez *chaudes*, c'est-à-dire contenir assez d'éléments combustibles pour que la température du bain atteigne et dépasse celle de la fusion de l'acier ; 2° être assez *pures* pour donner un acier de qualité suffisante. Elles doivent être d'autant plus chaudes que l'on veut avoir de l'acier plus doux, d'autant plus pures que l'on veut de l'acier de qualité plus fine.

Les éléments qui donnent de la chaleur au bain sont le silicium surtout, puis le manganèse dans certaines conditions; le carbone a une action calorifique moindre; nous ne parlons pas du fer que l'on doit ménager autant que possible pour ne pas avoir un trop grand déchet. On voit que les fontes les plus chaudes seront les fontes les plus siliciées ; nous en avons donné des exemples dans la première partie de cette revue à propos des fontes de Terrenoire en France, et de celles d'hématite en Angleterre. Les fontes très-manganésées, mais non siliciées, comme les spiegeleisen, ne peuvent être employées parce que l'oxyde de manganèse infusible qui est produit attaque rapidement la garniture siliceuse des appareils pour former une scorie peu fusible

Digitized by Google

par suite de la faible proportion de silice, et parce qu'il en résulte des projections et même des explosions résultant de la viscosité de cette scorie. Pour que le manganèse puisse jouer un rôle calorifique utile, il faut qu'il existe à côté de lui une proportion de silicium suffisante pour former une scorie qui n'amène pas ces accidents ; d'après des essais faits à Hoerde, en Westphalie, les proportions relatives paraissent être 1 pour 100 de silicium au moins pour chaque 2,75 pour 100 de manganèse. Une fonte blanche carburée, ni manganésifère, ni siliciée, ne peut réussir, et on n'en obtient qu'un magma de fer plus ou moins décarburé et d'oxyde de fer, et non de l'acier fondu.

La proportion de silicium dans le bain ne doit pas toutefois dépasser une certaine limite, parce que l'opération devient trop longue, et parce qu'on n'arrive même pas à éliminer complétement cet élément ; on obtient de l'acier silicié qui est cassant. Il est probable qu'à une certaine température le silicate de fer et la silice elle-même se dissocient, et qu'il s'établit un équilibre qui ne permet pas de dépasser cette température quelle que soit la proportion de silicium. Mais on a remarqué, dit-on, qu'on pouvait employer des fontes renfermant même plus de 2 et demi pour 100 de silicium, à la condition que l'excédant fût compensé par une proportion correspondante de manganèse; ce fait peut s'expliquer peut-être par la plus grande stabilité du silicate de manganèse aux hautes températures.

A Neuberg, en Styrie, pour traiter des fontes froides peu siliciées, on a imaginé d'insuffler avec le vent, pendant la première période de l'opération, du charbon en poudre ; mais on ne peut pas obtenir ainsi des aciers fondus autres que des aciers durs, la température du bain ne pouvant s'élever suffisamment.

Il faut que les fontes soient pures, c'est-à-dire dépourvues de matières qui puissent rendre leurs produits rouverains ou cassants à froid. L'élément le plus nuisible est le phosphore, qui ne peut être éliminé dans l'affinage rapide du procédé Bessemer, puisque jamais la scorie n'est assez ba-

Digitized by Google

sique pour l'absorber à l'état de phosphate. Le soufre est moins fâcheux, parce qu'une petite proportion peut être éliminée par la scorie manganésifère qui se forme. L'arsenic, le cuivre jouent un rôle très-nuisible, comme on sait. L'aluminium paraît être aussi contraire à la bonne qualité de l'acier. Il faut veiller, quand on veut fabriquer des fontes à Bessemer, à ne point introduire de phosphore ou d'aluminium dans la fonte, en voulant la rendre trop riche en silicium.

Les fontes s'emploient tantôt en première fusion, c'est-à-dire qu'on les fait passer du haut fourneau dans le convertisseur sans solidification intermédiaire, tantôt en seconde fusion, c'est-à-dire qu'on les refond. Dans ce dernier cas, si on opère au réverbère, il faut compter que, malgré tous les soins et toute la rapidité possible de fusion, on perd une certaine quantité du silicium qui est oxydé en pure perte dans cette seconde fusion. Aussi, sous ce rapport, il vaut mieux opérer au cubilot, où la fusion peut se faire dans une atmosphère à peu près neutre, et où on perd moins de silicium ; mais alors il faut que les cokes employés soient assez purs pour ne pas apporter trop de soufre dans le bain. La seconde fusion est surtout employée pour les produits spéciaux qui exigent des mélanges de fontes, afin d'utiliser par exemple la chaleur des unes et la pureté des autres. La fonte de première fusion sert ordinairement pour des produits plus communs, comme les rails.

Des appareils employés. — L'usage a consacré maintenant le mot de *convertisseurs* (*converters*, en anglais) pour désigner les appareils dans lesquels la fonte liquide est convertie en acier fondu par le procédé pneumatique de Bessemer. Il en existe deux sortes différentes : les *convertisseurs fixes* et les *convertisseurs oscillants*.

Les premiers ne sont qu'un perfectionnement de l'ancien appareil avec lequel Bessemer opérait à Baxterhouse en 1856. C'est avec eux que les premières opérations réussirent en Suède, et les maîtres de forges de ce pays les ont conservés dans leur pratique ; aussi les appelle-t-on souvent *appareils*

Digitized by Google

suédois. Nous donnons pl. XXX, fig. 2 et 3, les détails d'un convertisseur fixe employé à l'usine de Heft (Carinthie); on trouvera aussi pl. XX, en I, une élévation de ce même appareil que nous ne croyons pas nécessaire de décrire ici.

Les convertisseurs oscillants ou *appareils anglais* sont bien connus, et nous ne croyons pas nécessaire d'en donner ici un dessin (1). La planche XXX indique seulement la disposition qui a été adoptée à l'usine de Terrenoire pour alimenter des convertisseurs oscillants avec de la fonte de première fusion. On place en A, dans une fosse et sur une bascule à peser, une poche B, montée sur un chariot; on fait couler la fonte du haut fourneau jusqu'à ce que la bascule annonce que le poids nécessaire se trouve dans la poche. A ce moment on arrête la coulée et on fait passer la poche B sur le plateau d'un élévateur hydraulique C qui la soulève au niveau de la rigole D. On fait avancer le chariot sur des rails jusqu'à un buttoir, puis là on incline la poche de façon à ce que la fonte arrive par la rigole D dans un distributeur tournant qui la conduit dans l'un ou dans l'autre des deux convertisseurs F formant une paire d'appareils.

Les planches XX et XXI donnent les détails d'une autre disposition adoptée à Heft en Carinthie pour alimenter trois convertisseurs III fixes avec la fonte de deux hauts fourneaux AA. On fait arriver directement la fonte dans une poche placée sur le chariot N; quand elle est pleine, on l'enlève à l'aide de la grue M que l'on fait ensuite tourner pour amener le bec de la poche au-dessus de la trémie de chargement des convertisseurs où on verse la fonte.

A Terrenoire, la coulée de l'acier se fait suivant le système ordinaire dans un poche à quenouille H supportée par une grue hydraulique à bras horizontale au moyen de laquelle on remplit les moules I. Une grue pivotante J, également hydraulique, sert à démouler rapidement les lingots.

(1) On voyait à l'Exposition un modèle complet d'un atelier à deux convertisseurs avec ses dépendances, appartenant à l'Ecole des mines de Londres.

Digitized by Google

A Heft, la coulée se fait dans une poche L montée sur un chariot. On remplit les moules K placés dans une fosse rectiligne en faisant avancer la poche en ligne droite. La grue M sert aussi au démoulage.

La garniture réfractaire des convertisseurs est à peu près partout faite avec des matières siliceuses ou alumineuses : à Sheffield avec du *ganister*, en France avec des sables et des terres siliceuses, en Suède avec des briques réfractaires de Newcastle. Il paraît en effet difficile de la faire avec des matières calcaires, magnésiennes ou ferrugineuses à cause de l'action corrosive du silicate de fer qui se forme pendant l'opération. Il en résulte que cette scorie ne peut devenir suffisamment basique pour être épurante et absorber le phosphore à l'état de phosphate, quoiqu'elle puisse absorber une certaine proportion de soufre à l'état probablement de sulfate de manganèse ou d'oxysulfure de manganèse.

Pendant l'opération, les gaz prennent dans le convertisseur une tension d'autant plus grande, que l'on insuffle par seconde une quantité d'air plus grande et que la section de l'orifice de sortie au bec est plus petite. Plus cette tension intérieure est forte, moins la dissociation des produits de combustions intermoléculaires a d'importance, et plus la température peut s'élever. Il importe donc, au point de vue de la température, comme aussi pour être en mesure de remédier aux accidents d'opération, d'avoir une soufflerie aussi puissante que possible. La pression d'arrivée du vent doit vaincre, en effet, non-seulement la résistance due à la hauteur du bain de fonte au-dessus des orifices des tuyères, mais encore celle due à la tension des gaz dans le convertisseur, sans parler du frottement dans les petits orifices des tuyères ; aussi cette pression doit-elle pouvoir atteindre 1 atmosphère et demie effective, soit 114 centimètres de mercure avec la soufflerie en marche régulière. Avec une paire de convertisseurs capables de traiter *n* tonnes de fonte chacun, il faut employer, pour ne pas risquer de manquer de vent, deux machines soufflantes, ordinairement accouplées, capables d'aspirer chacune par minute 25 à 30 *n* mètres

Digitized by Google

cubes d'air à la pression atmosphérique, et de les envoyer dans le régulateur à la pression de 114 centimètres de mercure. La soufflerie est l'âme d'un atelier Bessemer, et il vaut mieux qu'elle pèche par excès que par insuffisance de force. La plus grande installation existante est celle d'un des ateliers de MM. John Brown et Cᵉ à Sheffield, qui comprend 2 convertisseurs projetés pour 10 tonnes chacun, et qui peuvent au besoin recevoir 15 tonnes de fonte. Leur soufflerie se compose de 2 machines accouplées dont voici les principales dimensions :

Diamètre des cylindres soufflants.	1ᵐ,525
Course.	1 ,525
Diamètre des cylindres vapeur..	1 ,270
Nombre de tours maximum par minute	50

On voit qu'en supposant les machines à vapeur sans détente ni condensation, activées par de la vapeur à 3 atmosphères effectives dans les cylindres, la puissance de la soufflerie atteint environ 1 200 chevaux-vapeur (1).

Nous avons calculé à Assailly la puissance développée par une paire de machines soufflantes qui alimentaient un convertisseur chargé de 6 000 kilogrammes de fonte environ ; cette puissance était de 350 à 360 chevaux. Le rapport est donc à peu près le même qu'à Sheffield, c'est-à-dire environ 60 chevaux par tonne de fonte chargée dans les convertisseurs.

De la conduite de l'opération. — Sans vouloir entrer ici dans l'explication complète d'une opération Bessemer, nous rappellerons seulement que pendant une première phase, plus ou moins longue suivant la plus ou moins grande proportion de silicium contenue dans la fonte, la pénétration du vent dans le bain se fait sans autre phénomène sensible qu'un flot serré d'étincelles rougeâtres sortant du bec du convertisseur. Puis commence la décarburation, qui se manifeste par l'apparition d'une flamme de plus en plus blanche et de plus en

(1) Le Creusot possède maintenant (1871) un atelier aussi puissant.

Digitized by Google

plus tendue, indiquant une température et une pression de plus en plus élevées dans l'intérieur de l'appareil. Cette flamme est d'abord accompagnée d'un bouillonnement plus ou moins vif; le vent pénètre plus aisément dans l'appareil, parce que la contre-pression due à la hauteur du bain de fonte diminue. Puis, la température étant assez élevée, le bouillonnement cesse et l'affinage se continue rapidement sans bruit. Arrivée à son plus haut degré de luminosité, la flamme blanche tombe presque brusquement et est remplacée par une flamme courte et fuligineuse qui indique que les dernières traces de carbone ont disparu. La flamme blanche est accompagnée surtout pendant le bouillonnement d'une quantité de fumée roussâtre d'autant plus abondante que la fonte est plus manganésifère. En continuant à souffler, on transformerait bientôt la charge de métal en une masse plus ou moins visqueuse de silicate basique de fer mélangé d'oxyde de fer et de fer, la silice provenant de la garniture réfractaire, qui disparaîtrait presque totalement.

Mais on arrête l'opération, soit au moment précis de la complète décarburation, soit un peu auparavant; dans le premier cas, on a un bain de fer fondu intimement mélangé d'une certaine proportion d'oxyde de fer en suspension; dans le second, le bain se compose d'acier à un certain degré de carburation, mélangé ainsi d'une certaine proportion d'oxyde de fer.

Dans le dernier mode de travail, qui est celui usité en Suède, on coule le métal dans une poche et on l'y laisse reposer quelques instants; l'oxyde de fer en suspension est réduit par une partie du carbone de l'acier, l'oxyde de carbone se dégage en bulles, si le métal est assez chaud, et il reste dans la poche de l'acier un peu moins carburé qu'il ne l'était au moment même de la coulée. Pour obtenir de l'acier à une dureté déterminée d'avance, il faut donc arrêter l'opération à un moment tel que la décarburation qui continue à se faire pendant la coulée (dans l'appareil suédois, il faut souffler jusqu'à ce qu'il soit vide) et celle qui s'opère ensuite dans la poche par la réaction de l'oxyde n'abaissent

Digitized by Google

pas le degré de carburation au-dessous de celui correspondant à la dureté voulue. Les Suédois se servent, pour juger le moment où ils doivent commencer à couler, des indications fournies par la couleur de la flamme, par celle des globules métalliques projetés par le vent et du temps écoulé depuis la fin du bouillonnement. Mais néanmoins ils arrivent difficilement au but, et dans une même coulée tous les lingots n'ont pas toujours la même dureté. C'est pourquoi ils ont besoin d'employer constamment l'analyse chimique pour le dosage du carbone; ce qui a conduit M. Eggertz à inventer le procédé colorimétrique qui porte son nom. La formule de travail suédoise est inférieure à celle dont il nous reste à parler; elle n'est du reste applicable qu'avec des fontes pures parfaitement désulfurées.

On emploie beaucoup plus le mode d'opération qui consiste à pousser la décarburation jusqu'à son terme, de façon à obtenir dans le convertisseur mobile un bain de métal décarburé qui est plus ou moins, mais toujours pénétré de particules d'oxyde de fer. On arrête alors le soufflage en inclinant le convertisseur; si on coulait, on obtiendrait un métal rochant considérablement, qui resterait difficilement dans les lingotières, et qui serait sans usage à cause de sa fragilité. C'est une sorte de *fer brûlé*. Pour en tirer parti, il faut donc d'abord le débarrasser de l'oxyde de fer en suspension, puis le carburer plus ou moins, suivant qu'on veut obtenir de l'acier plus ou moins doux. Pour enlever l'oxyde de fer, il faut employer le silicium et le manganèse, et pour carburer, le carbone; on voit donc que dans beaucoup de cas une simple addition de fonte dans le bain suffira pour le transformer en acier. Le manganèse agit en décomposant l'oxyde de fer en vertu de sa plus grande affinité pour l'oxygène, et en se transformant en oxyde de manganèse, qui est plus fluide et qui en se combinant avec une faible proportion de silice vient à la surface sous forme de scorie. Le silicium lui-même enlève l'oxyde de fer en se transformant en silice aux dépens d'une partie de l'oxyde de fer qui est réduit et en se combinant avec une autre partie pour former un sili-

Digitized by Google

cate fusible. L'addition d'une fonte un peu siliceuse est le meilleur moyen pour débarrasser le métal de l'oxyde de fer et pour empêcher en même temps les soufflures; mais, d'autre part, le moindre excès de silicium qui reste dans l'acier le rend cassant et le fait manquer de corps. Un excès de manganèse n'a pas cet inconvénient; mais, comme ce métal ne peut être ajouté qu'à l'état de carbure, il en résulte que l'oxyde de fer, en agissant sur le carbone, forme des bulles d'oxyde de carbone qui deviennent des soufflures si le métal n'est pas assez longtemps chaud pour qu'elles s'échappent. Le moyen pratique le plus employé consiste à ajouter au bain dans le convertisseur une certaine proportion de spiegeleisen (ou fonte miroitante, qui renferme du manganèse, du carbone, avec une très-faible proportion de silicium), dont la teneur en carbone et en manganèse est bien connue d'avance. Le carbone de cette fonte recarbure le bain au degré désiré, tandis que le manganèse décompose l'oxyde de fer : il ne faut pas plus de carbone que ne l'exige le degré de dureté cherché, tandis qu'à cause de l'incertitude sur la quantité d'oxyde de fer qui se trouve dans le bain, un excès de manganèse ne peut nuire. Comme les spiegeleisen du commerce contiennent rarement plus de 10 pour 100 de manganèse et toujours au moins 5 pour 100 de carbone, on comprend qu'il est difficile avec leur moyen de produire des aciers très-doux, qui exigent une décarburation aussi complète que possible, en même temps qu'une épuration aussi complète ; il faudrait avoir un métal renfermant beaucoup de manganèse et très-peu de carbone.

Il faut noter encore une autre difficulté de l'emploi du spiegeleisen. Si on le fait refondre au four à réverbère pour l'introduire dans le convertisseur, on lui enlève forcément une proportion assez sensible de carbone et de manganèse. Il faudrait donc, comme on le fait quelquefois, granuler d'abord le spiegeleisen après l'avoir refondu en creuset à l'abri de l'air, et l'introduire dans le convertisseur à l'état de petits fragments solides portés seulement au rouge. La difficulté est alors le parfait mélange de cette matière avec

Digitized by Google

le bain. Il est vrai qu'elle existe aussi quand on introduit dans le convertisseur le spiegel liquide ; cependant, à moins que la masse du bain ne soit très-considérable, si le spiegel arrive un peu rapidement, la réaction se propage assez bien dans toute son étendue en laissant le temps nécessaire. Dans quelques usines, on relève le convertisseur après l'addition et on donne un coup de vent pour assurer mieux le mélange ; mais cette pratique est ordinairement inutile et a l'inconvénient du brûler une partie du carbone dosé. Même sans souffler, une partie du carbone est brûlée par l'oxyde de fer, comme on le reconnaît à la flamme vive qui sort du bec de l'appareil lors de l'introduction du spiegel, et il faut en tenir compte. La difficulté du mélange homogène du spiegeleisen avec le bain est une des raisons qui rendent préférable, pour l'obtention de qualités bien déterminées d'avance, un convertisseur de 3 à 4 tonnes à un convertisseur plus grand.

Les aciéries qui fabriquent des aciers très-doux recherchent les spiegeleisen les plus manganésés et les moins carburés possible. Il s'est monté à Glascow (*Phœnix Foundry*) une usine pour fabriquer, d'après un procédé inventé par M. Henderson, des alliages de fer et de manganèse contenant jusqu'à 25 et 30 pour 100 de ce dernier métal avec 5 pour 100 de carbone seulement. A Bonn (Prusse rhénane), le docteur Prieger a installé aussi la fabrication d'un produit analogue sous le nom de *ferro-manganèse*. Nous ignorons si le ferro-manganèse se trouve encore dans le commerce, mais nous savons que plusieurs aciéries, celle de Terrenoire notamment en France, sont cessionnaires des procédés.

La forte teneur en manganèse du spiegeleisen ou du ferro-manganèse ajouté à la fin de l'opération a encore l'avantage de rendre la scorie un peu épurante et de débarrasser ainsi le bain d'une petite proportion de soufre.

Le ferro-manganèse est supérieur au spiegeleisen aussi en ce qu'il n'apporte pas dans le bain autant d'éléments fonteux. Un acier dur fabriqué avec une addition un peu con-

Digitized by Google

sidérable de spiegeleisen renferme nécessairement plus de silicium, de soufre, de phosphore, d'aluminium, que le bain considéré avant l'addition, puisque les spiegeleisen les plus purs renferment toujours des traces sensibles de ces divers corps. Aussi souvent les aciers Bessemer sont-ils un peu fonteux.

Nous ne devons pas omettre de dire que, pendant la période qui précède le bouillonnement, on profite de la haute température du bain pour jeter dans l'appareil par le bec des bocages et riblons d'acier qui se refondent et dont on tire ainsi un très-bon parti.

Après l'addition du spiegeleisen dans le convertisseur oscillant et après quelques instants de repos, on verse dans la poche au moyen de laquelle on remplit ensuite les moules.

Moyens pour reconnaître le moment de la décarburation complète. — On peut comprendre, par ce qui précède, combien il est important d'apprécier exactement le moment où il faut arrêter le vent et renverser l'appareil pour ajouter le spiegeleisen. Les moyens que l'opérateur a à sa disposition pour se rendre compte du degré d'avancement de l'affinage sont basés soit sur l'observation de la flamme, soit sur celle de la scorie, soit sur la nature du bruit qui se produit dans l'intérieur de l'appareil ; il peut employer concurremment plusieurs d'entre eux.

La période de bouillonnement se distingue aisément par un bruit tumultueux particulier ; lorsque ce bruit cesse, il est suivi du bruissement sifflant des gaz sortant avec pression du bec de l'appareil ; aussitôt que l'oxyde de carbone a disparu, le volume des gaz étant bien moindre, le bruissement change de nature et ce changement indique à l'oreille la fin de la décarburation.

L'observation de la scorie est un moyen employé surtout dans les aciéries où l'on traite des fontes manganésées et où on se trouve gêné pour l'examen de la flamme par les flots de fumée roussâtre qui sortent du convertisseur, par exemple, à Neuberg (Styrie), à Marienhütte, près Zwickau (Saxe), à Hoerde (Westphalie). Nous l'avons vu pratiquer

Digitized by Google

dans cette dernière usine. On prend, avec une baguette de fer qu'on plonge dans le convertisseur, un peu de la scorie qui surnage et on la refroidit. La couleur de cette scorie varie naturellement, aussi bien à sa surface que dans sa cassure, d'après sa teneur en oxyde de fer, et d'après le moment où on fait la prise d'essai. A Hoerde, par exemple, on sait que, lorsque la scorie sur la baguette est très-mince et de couleur grise-bleue, l'opération est finie ; si on l'arrêtait lorsque la scorie est encore jaune, le métal serait sans emploi.

La flamme peut être observée de différentes façons. La vision directe est le système qui a été le premier et qui est encore le plus employé ; nous avons indiqué plus haut sommairement les modifications visibles dans la couleur et la nature de la flamme. Mais les opérateurs exercés à Sheffield, au lieu de regarder directement la flamme, regardent sa réverbération sur une paroi de mur fraîchement blanchie, qui leur permet de juger les colorations sans être exposés à l'éblouissement. En Ecosse, à Glascow, M. Rowan a imaginé un petit instrument qu'il appelle *chromopyromètre*, formé de deux lames de verre bleu et d'une lame de verre jaune foncé, et avec lequel il observe les changements de teintes correspondant aux changements de température de la flamme de ses convertisseurs. Ailleurs on a essayé de mesurer avec un photomètre la quantité de lumière dégagée aux différents moments de l'opération. Mais ces systèmes présentent tous le grave inconvénient d'exiger une grande pratique de l'opération avec la même nature de fonte ; un opérateur habitué à traiter une certaine fonte se trouve désorienté et obligé de procéder à tâtons s'il a affaire à une autre espèce de fonte.

Un seul système est rationnel et applicable à toutes les fontes, c'est l'examen de la flamme au moyen du *spectroscope*. Nous ne pouvons ici discuter les diverses questions relatives au spectre de la flamme ; nous renverrons nos lecteurs à l'intéressant mémoire de M. Habets dans la *Revue universelle*, t. XXIII, p. 388, et nous nous contenterons d'in-

Digitized by Google

diquer sommairement l'emploi du spectroscope, tel que nous l'avons vu pratiquer à Sheffield, dans l'usine de MM. J. Brown et Cᵉ. Cette application ingénieuse de l'analyse spectrale à la métallurgie est due à M. W. Bragge, associé de M. J. Brown ; le professeur Roscoe, dès le commencement de 1863, en fit le sujet d'une communication à la Société littéraire et philosophique de Manchester. On se sert maintenant d'un spectroscope à vision directe, qu'on dirige comme une simple lunette sur la flamme en élargissant plus ou moins la fente qui donne passage au spectre : on peut avec cet appareil examiner les différentes régions de la flamme si on le désire.

Au commencement de l'opération et pendant toute la période de scorification, on n'aperçoit d'abord qu'un spectre continu sans aucune raie brillante ni obscure. Puis bientôt la raie jaune du sodium apparaît par éclairs, et enfin se fixe d'une façon très-caractérisée. Graduellement on voit se former un grand nombre d'autres raies, soit brillantes, soit noires. Celles qu'on remarque le plus aisément sont des zones noires dans la région verte, qui paraissent dues au manganèse, et d'autres zones noires dans la région rouge, qui font partie, pense-t-on, du spectre du carbone. Quoi qu'il en soit, au moment où l'affinage se termine, toutes les raies disparaissent brusquement, sauf celle du sodium, et cette disparition est un signe infaillible pour le praticien, qui fait alors arrêter le vent et coucher le convertisseur pour ajouter le spiegeleisen. A ce moment les raies du carbone et du manganèse reparaissent un instant, puis tout s'efface de nouveau. Quelquefois il se montre dans l'extrême rouge des raies qu'on ne sait trop à quoi attribuer. Ce sont les raies de la région verte qui sont les plus caractéristiques et qui servent surtout à l'opérateur en Angleterre et en Belgique. En Allemagne, on paraît se préoccuper des raies brillantes, mais nous ne croyons pas que leur disparition soit aussi aisée à constater exactement en pratique.

Ce procédé spectroscopique peut toujours être employé, quelles que soient les fontes traitées. A Sheffield, où on

Digitized by Google

traite dans la même usine des mélanges de fontes fort variables, suivant les qualités d'acier qu'on veut obtenir, la vision directe des flammes tromperait souvent l'opérateur, tandis qu'avec l'aide du spectroscope il arrive à réussir une opération avec un mélange de fonte qu'il traite pour la première fois. Les fabricants anglais sont, en effet, arrivés à fabriquer dans le convertisseur Bessemer des aciers spéciaux par le mélange de fontes de provenances diverses (Cumberland, Yorkshire, Suède, Norwége, Westphalie, Nouvelle-Ecosse) aussi aisément que les ingénieurs de hauts fourneaux fabriquent maintenant des fontes spéciales par le mélange de minerais divers, et le spectroscope leur est d'un grand secours dans ce genre de travail. Nos fabricants français n'ont pas encore réussi, croyons-nous, à être aussi maîtres de leurs opérations, et, du reste, ils se sont préoccupés surtout des qualités ordinaires pour rails.

DEUXIÈME SECTION

Le procédé Bessemer en France.

Le premier convertisseur fut établi en France chez M. W. Jackson à Saint-Seurin-sur-l'Isle, dans le Périgord, d'après les dessins de M. H. Bessemer ; il contenait 1500 kilogrammes de fonte. M. Jackson fut le pionnier du procédé Bessemer, et contribua par son expérience spéciale à faire aboutir les essais de l'inventeur ; aussi celui-ci lui céda, dès l'origine, une partie des droits que lui conféraient ses brevets d'invention pour la France. Deux autres convertisseurs de 3000 kilogrammes chacun furent plus tard installés à Saint-Seurin, qui resta quelque temps la seule aciérie française appliquant le nouveau système. Ces appareils ont été depuis transportés à l'usine d'Imphy (Nièvre), et l'importance de celle de Saint-Seurin est à peu près nulle aujourd'hui.

MM. Petin, Gaudet et Ce sont les premiers qui aient fourni au commerce et à l'industrie des quantités considérables d'acier Bessemer. L'installation du procédé chez eux date de

Digitized by Google

1862 ; en 1867, ils possédaient dans l'aciérie d'*Assailly* deux convertisseurs de 6 à 7 000 kilogrammes, et un de 9 à 10 000 kilogrammes ; en 1869, ils ont installé à *Givors*, à côté de leurs hauts fourneaux, deux convertisseurs de 5 à 6 000 kilogrammes. Dans les deux usines ils traitent des fontes fabriquées au coke à Givors avec les minerais de Sardaigne, d'Afrique et d'Espagne. A Assailly, avec trois convertisseurs desservis par quatre fours à réverbère pour la fonte grise et trois fours à spiegeleisen, on fait 40 à 45 opérations par semaine. Le déchet est très-régulièrement 9 et demi à 10 pour 100 du poids total de fonte introduit dans l'appareil ; en outre, on compte 5 pour 100 de bocages et de fonds de poches. Les convertisseurs de 7 tonnes sont munis de 9 tuyères à 9 trous chacune ; celui de 10 tonnes a 10 tuyères à 9 trous chacune. Les opérateurs ne se servent pas du spectroscope et surveillent surtout soigneusement la pression au moyen de quatre manomètres installés sur le réservoir à vent, sur le banc de manœuvre, sur le col de cygne qui conduit au tourillon du convertisseur, et enfin sur la boîte à vent de celui-ci ; ce sont des manomètres métalliques gradués en dixièmes d'atmosphères. MM. Petin, Gaudet et Ce exposaient en 1867 un lingot d'acier fondu ayant une section de 1 mètre carré et du poids de 25 tonnes ; après avoir été entaillé à la machine à raboter, il avait été cassé par le milieu pour faire voir la texture et permettre de constater l'homogénéité et l'absence de soufflures ; il présentait le grain large particulier aux aciers doux, et sa peau était un peu rugueuse, comme il arrive souvent avec cette matière. Ils exposaient de plus des canons en aciers pour la marine et pour l'artillerie de terre remarquables par la finesse du métal, que des cassures ménagées à dessein permettaient d'apprécier (on voyait deux tronçons d'un canon de 19 centimètres qu'une pression intérieure de 200 atmosphères n'avait pu faire éclater malgré une entaille pratiquée sur toute la longueur d'une génératrice, et qu'on a dû briser à coups d'un gros marteau pilon), des boulets martelés et forgés, des canons de fusils, des tôles d'acier Bessemer pesant 1 600

Digitized by Google

et 1 680 kilogrammes, enfin des rails de diverses formes en acier Bessemer, dont un à pont de 8 mètres de longueur (1).

La *Société d'Imphy-Saint-Seurin* (ancienne société W. Jackson et Ce) possède dans son usine d'Imphy trois convertisseurs (un de 4 tonnes et deux de 5 tonnes), avec lesquels elle peut faire plus de 800 opérations par mois et produire 1 500 tonnes d'acier fondu. Ces trois appareils sont desservis par 4 fours à réverbère et 2 cubilots, sans compter les petits fours pour le spiegeleisen. Un convertisseur fait à peu près 80 opérations sans réparation de l'enduit réfractaire. Chaque opération donne au moins 11 lingots bruts pour rails. Les lingotières sont rondes, ayant 23 centimètres de diamètre et 1 mètre de hauteur ; il y en a douze dans la fosse, disposées en groupes de trois et pouvant tourner sur elles-mêmes en étant commandées au moyen d'engrenages par la lingotière du milieu de chaque groupe ; deux petites machines à vapeur donnent le mouvement à cet ensemble. En faisant faire aux lingotières trois à quatre tours par minute, on facilite, paraît-il, l'expulsion des bulles gazeuses qui se reportent au centre, et on obtient des lingots plus sains sans soufflures. Les fontes employées viennent de Givors, Saint-Louis et Montluçon ; la proportion de spiegeleisen employée varie depuis 12 à 13 pour 100 pour les lingots à rails jusqu'à 8 pour 100 pour les lingots à essieux. L'aciérie d'Imphy exposait en 1867 une belle collection de produits en acier Bessemer : des croisements de voie, des pointes de cœur, des rails double champignon des Compagnies de l'Ouest, du Nord, du Midi, d'Orléans, de Lyon, parmi lesquels un spécimen de 10 mètres de long, des rails rectangulaires d'Orléans et du Midi, des rails de pont pour la Compagnie de Lyon, à champignons inégaux pour le Victor-Emmanuel, à patin non symétrique pour le Lyon, à

(1) On voyait en 1867 dans l'exposition de la fabrique d'orfévrerie Odiot un magnifique surtout de table en argent qui représentait divers appareils des aciéries d'Assailly et de Saint-Chamond. Il appartenait à M. Pain.

Digitized by Google

patin unilatéral pour le Nord (aiguilles), des boulets, un canon de 8, un arbre à double manivelle en acier forgé et ajusté, enfin un lingot brut de 7 295 kilogrammes, remarquable par sa belle peau.

L'usine d'Imphy était en 1866 celle qui produisait le plus d'acier Bessemer par an ; elle primait même sous ce rapport celle d'Assailly.

La *Société des forges de Franche-Comté* (S. Menans et C°) avait installé dans son usine de Fraisans une paire de convertisseurs d'une construction remarquable ; mais la difficulté de se procurer assez économiquement des fontes appropriées l'a fait renoncer à cette fabrication. Elle exposait quelques produits en 1867, mais ses appareils ont été depuis cédés à la Compagnie de Terrenoire.

La *Compagnie des fonderies et forges de Terrenoire, Lavoulte et Bességes* est maintenant le plus gros producteur français. Avec quatre convertisseurs à Terrenoire et deux autres à Bességes, chacun de 5 tonnes, recevant directement la fonte du haut fourneau, elle peut faire 30 opérations par vingt-quatre heures et fournir plus de 100 tonnes d'acier, soit 36 000 tonnes par an. Nous ne reviendrons pas sur l'installation des appareils, que nous avons déjà décrite. On se sert du spectroscope pour la conduite du travail. Grâce à l'emploi de la fonte de première fusion, on fait des opérations remarquablement chaudes. Après cinq minutes environ de repos dans le convertisseur depuis l'addition du spiegel, le métal coule dans la poche en une magnifique nappe blanche bleuâtre, à une température certainement plus élevée que tout ce que nous avons vu dans les usines où on traite la fonte de deuxième fusion. On laisse encore reposer plusieurs minutes dans la poche avant de couler. Malgré ces repos, le déchet en bocages et fonds de poches ne dépasse pas 2 et demi à 3 pour 100. Cette haute température et cette fluidité sont dues à la proportion plus considérable de silicium que contiennent des fontes qui n'ont pas été refondues.

L'aciérie de Terrenoire exposait quelques lingots, entre

Digitized by Google

autres : un lingot ordinaire pour rails, un lingot dur pour grosses pièces de forge (densité du lingot brut 7,6 ; du lingot forgé, 7,8), un lingot doux (densité brut, 7,35; forgé, 7,8). Elle divisait ses produits Bessemer en trois classes distinctes :

1° *Acier dur* pour rails et pour tout ce qui doit résister à l'usure, sans recevoir de choc trop violent. Comme spécimens, elle montrait des rails, des ressorts, des essieux droits pour wagons ;

2° *Acier doux* destiné aux constructions dans lesquelles la condition de dureté est moins nécessaire, et où il faut, au contraire, pouvoir compter sur un certain allongement de la matière (ponts, navires). Elle exposait des cassures d'ébauche de fer à double T, de cornières, des tôles (des cornières ouvertes et fermées à froid à coups de marteau, une tôle pliée à refus dans le sens transversal et ensuite ouverte sans qu'il se soit produit de gerçure);

3° *Acier extra-doux* destiné à tous les usages où il faut avant tout du métal qui s'allonge et résiste au choc (tôles de chaudières, pièces de machines, canons de fusils, etc.), et où il faut que la soudure soit possible. On voyait dans cette catégorie des cassures de diverses barres laminées, des pliures et des cassures à froid de barres, de tôles, de canons de fusils, d'essieux de wagons, des épreuves à chaud sur barres et sur tôles sans criques, une épreuve de soudure avec une cassure en travers (le métal n'avait pas subi d'altération).

Dans cette exposition très-intéressante, la Compagnie de Terrenoire montrait encore : des tôles de dimensions moyennes (9 millimètres et 510 kilogrammes, 10 millimètres et 471 kilogrammes), une barre laminée double T de 25 centimètres et $8^{m},50$ de longueur, des cornières de 120 sur 180 millimètres longues de $8^{m},50$, une tôle emboutie à chaud et diminuée depuis 11 millimètres d'épaisseur jusqu'à 3 millimètres sans la moindre détérioration, une autre tôle à bords tombés, etc.

Mais la partie la plus instructive était formée par les spécimens et les tableaux d'essais de résistance à la traction

Digitized by Google

faits au moyen de la presse hydraulique, dont nous donnons le résumé dans le tableau ci-dessous.

	Acier dur pour rails.	Acier dur pour essieux.	Acier doux barre ronde.	Tôle d'acier doux		Acier ext. doux barres rondes.	Tôle extra-douce.		Acier pour canons de fusils.
				parall. au lamin	perp^re au lamin		parall. au lamin.	perp^re au lamin.	
Section essayée, en millim. carrés...	464	498	472	460	438	480	384	442	170
Poids supporté sans allongement permanent, en kilog.	17000	25700	14960	15400	14950	14500	11270	12770	5260
Poids de rupture, en kilog.....	28800	40000	26600	27800	24350	22300	19670	21900	7760
Longueur essayée..	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Longueur à la rupture.....	15	215	223	216	212	246	247	234	247
Charge par mill. carré. sans allong. perman..	36k,6	51k,5	31k,7	33k,5	34k	30k,2	29k,4	28k,7	30k,9
Charge par mill. carré. à la rupture.	62k	80k	56k,2	60k,2	55k,2	46k,1	51k,2	49k,5	45k,6
Allongement p. 100.	7,5	7,5	11,5	8	6	23	23,5	17	23,5

La *Société des forges de Châtillon-Commentry* exposait aussi en 1867 quelques rails en métal Bessemer tordus à froid pour montrer leur douceur; mais elle ne fabriquait pas encore régulièrement et se livrait surtout à des essais qui se sont longtemps prolongés; car en 1869 ses produits n'avaient pas encore une place importante sur le marché. Elle s'installe plus grandement en 1870.

MM. de Dietrich et Ce possèdent depuis 1863 deux convertisseurs de 3 tonnes dans leur aciérie de *Mouterhausen* (Moselle); il y traitent des fontes aciérieuses grises ou blanches lamelleuses, manganésifères, provenant de leurs propres hauts fourneaux. Leur exposition de 1867 était remarquable et comprenait des bandages, des essieux, des tôles, des canons de fusils, des lames de papeterie en acier Bessemer, avec des épreuves à chaud et à froid de métal doux ou dur.

Les usines du Creusot ont installé et mis en train un grand atelier Bessemer en 1870; le nombre des convertisseurs doit y atteindre six, dit-on. Deux seulement fonctionnaient pendant le premier semestre.

Nous donnons en terminant la production de l'acier Bessemer dans chacune des usines françaises depuis 1863 :

Digitized by Google

USINES.	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Société d'Imphy St-Seurin...	538	2966	3751	4858	6518	10 373	10 131
Petin, Gaudet et Cie.....	977	3887	3059	3851	7238	8 777	9 884
De Dietrich et Cie.....	»	271	841	465	764	1 540	1 261
Mosans et Cie.....	»	182	346	»	»	»	»
Société de Terrenoire	41	443	1 754	1 537	5 255	20 566	29 514
Soc. de Châtillon-Commentry.	»	»	»	59	117	1 345	1 613
	1 856	6 750	9 751	10 790	19 892	42 601	52 409

Quant au nombre des convertisseurs, il était à la fin de 1869 le suivant :

	Convertisseurs de			
	4 tonnes.	5 tonnes.	7 tonnes.	10 tonnes.
Usine d'Imphy.	1	2	»	»
— d'Assailly	»	»	2	1
— de Terrenoire . .	»	4	»	»
— de Bessèges . . .	»	2	»	»
— de Mouterhausen.	2	»	»	»
— de Montluçon . .	2	»	»	»

En tout 16 convertisseurs, pouvant fournir par opération 75 tonnes d'acier, soit environ par vingt-quatre heures 300 tonnes et par an 90 000 tonnes.

TROISIÈME SECTION

Le procédé Bessemer en Grande-Bretagne.

Après avoir fait ses premiers essais à Baxterhouse dans Londres, M. Bessemer installa en 1857 une petite usine à Sheffield ; secondé par des amis de Manchester, MM. Galloway, il finit par démontrer aux praticiens que ses produits avaient une valeur commerciale sérieuse. Le premier M. John Brown, de Sheffield, installa vers 1859 ou 1860 un atelier de fabrication par ce nouveau système. En 1862, lors de l'Exposition de Londres, nous vîmes deux convertisseurs (l'un pour 1 650 kilogrammes de fonte et l'autre pour 3 tonnes) dans l'usine de M. Bessemer à Sheffield et trois convertisseurs de 4 tonnes chez MM. John Brown et Cᵉ ; en

Digitized by Google

outre, il y avait un appareil à l'usine de Tudhoe, près Newcastle, appartenant à la Compagnie de Weardale.

Dans l'*usine de MM. Bessemer et Longsdon* à Sheffield, en 1862, nous avons suivi quelques opérations et recueilli des renseignements qui nous ont prouvé que le travail était déjà à cette époque parfaitement étudié et tout à fait devenu pratique. On faisait en trois semaines 90 opérations avec la même garniture réfractaire en ganister, épaisse de 10 à 12 centimètres à l'origine ; dans l'appareil, ayant 1^{m},20 de diamètre extérieur, on traitait de 1 150 à 1 650 kilogrammes (23 à 33 quintaux anglais) de fonte, qui formait un bain de 30 centimètres de profondeur environ ; on y soufflait par 9 tuyères à cinq trous chacune, avec du vent comprimé à 70 centimètres de mercure environ. Pour faire des aciers durs, on employait des fontes de Suède, et pour les aciers doux, des fontes d'hématite de Cleator. Les opérations étaient assez rapides et on ajoutait 5 à 8 pour 100 de spiegeleisen pour la récarburation finale.

L'exposition de M. Bessemer dans le palais de Kensington en 1862 était très-remarquable, et comprenait toute une collection de produits pouvant être obtenus avec son acier.

Nous croyons intéressant de donner ici ce détail rétrospectif, puisque M. Bessemer n'a point exposé en 1867 et a cependant été honoré d'un grand prix. Les pièces principales étaient : 1° un lingot octogone de 35 centimètres de diamètre, cassé pour faire voir qu'il est complétement massif et sans soufflures ; la cassure est conservée à un bout, tandis qu'à l'autre il est tourné, et il fallait regarder la peau du lingot pour s'apercevoir qu'il n'avait pas été forgé ; 2° un lingot de 45 centimètres carrés, pesant 1 400 kilogrammes, qui est le six mille quatre cent dixième de la fabrication ; 3° des canons de 24, faits avec des lingots, forés et finis par MM. Fawcett, Preston et C° de Liverpool ; 4° des boulets ronds de 32, un de 43, avec une zone plate au calibre de 24, un oblong de 80 pour le même canon, avec des hélices directrices sur le boulet ; 5° des armes faites par M. Reeves, de Birmingham (sabres, épées, bou-

Digitized by Google

clier, cuirasse, casque, baïonnette, canons de fusils et de pistolets); 6° un arbre coudé pour machine de 50 chevaux, forgé et fini par M. Galloway, de Manchester, une tige de piston de 18 centimètres de diamètre et 4^{m},25 de longueur, deux tiges plus petites pour machines fixes et locomotives, un cylindre de presse hydraulique de 18 centimètres de diamètre, très-léger; 7° un rail de 12 mètres laminé à Crewe (ateliers du Great-Western Railway), d'autres tordus sans criques, courbés au pilon pendant la gelée par M. Ramsbottom, des cassures de rails polis, placées sous des verres; 8° des bandages pour locomotives et pour wagons; 9° des vases en acier provenant de fonte au coke anglaise emboutis à la presse hydraulique, de 30 centimètres de diamètre, épais l'un de 15 millimètres et l'autre de 21 millimètres; 10° puis des épreuves à froid et à chaud comme une barre carrée de 12 centimètres pliée à chaud, sans criques, une autre à moitié coupée, puis pliée en deux, une barre carrée de 10 centimètres tordue de façon que les angles se sont approchés l'un de l'autre de moins de un demi-pouce, de sorte que les fibres de la surface se sont allongées beaucoup, tandis que celles du centre n'ont pas changé de longueur (d'après le catalogue de M. Bessemer, ses aciers pouvaient supporter une tension de 63 à 110 kilogrammes par millimètre carré, suivant leur degré de carburation, les variétés douces supportant 63 à 75 kilogrammes alors que les fers ordinaires ne supportent que 33 kilogrammes, et ceux du Yorkshire que 40 kilogrammes); 11° des fils d'aciers faits par M. Fox, de Deepcar, près de Sheffield, des cardes de MM. Fairbairn frères (employées par MM. Platt frères), des outils tranchants de MM. Ibbotson, de Sheffield, des plumes métalliques de M. Mason, de Birmingham, de la coutellerie de MM. Rotherham, de Sheffield, des tarauds et filières de M. Chatwin, de Birmingham; 12° enfin des riblons de tôles Bessemer, des fonds de poches et des barres très-saines faites avec ces déchets.

Tous ces objets étaient fabriqués avec de l'acier Bessemer obtenu à Sheffield, et employé soit de première fusion,

Digitized by Google

soit après une deuxième ou une troisième fusion au creuset; les bandages seuls provenaient d'acier de première fusion fabriqué par M. F. Goeranson, de Gèfle (Suède) (1).

*MM. Henri Bessemer et C*e ont maintenant à Sheffield deux convertisseurs de 4 tonnes et un appareil d'essai de 500 kilogrammes. Les fils de M. Henri Bessemer, *MM. Bessemer frères*, ont une usine à Greenwich, près Londres, avec deux convertisseurs de 5 tonnes.

*MM. John Brown et C*e possèdent dans leur belle usine de Sheffield trois ateliers Bessemer. Ils ont été les premiers à installer en grand le nouveau procédé en Angleterre : en 1862, nous avons déjà vu fonctionner chez eux trois convertisseurs de 4 à 5 tonnes chacun. En 1869, nous y avons trouvé trois ateliers, deux avec deux convertisseurs de 5 à 6 tonnes chacun, le troisième avec deux convertisseurs de 10 à 12 tonnes. Si MM. Brown et Ce ont été les pionniers du procédé Bessemer en Angleterre, ils sont actuellement, d'après ce que nous avons pu voir, les industriels qui en ont le mieux tiré parti et qui en connaissent le mieux les res-

(1) En 1862, beaucoup d'industriels anglais se refusaient encore à croire à l'avenir du procédé Bessemer ; nous l'avons constaté dans une visite à Sheffield à cette époque, et on le constatera dans l'extrait suivant du rapport officiel du jury des récompenses à l'Exposition de Londres : « L'acier Bessemer, presque décarburé, est un métal utile, doux, homogène, convenable pour artillerie, navires, chaudières, tiges de piston, glissières, et en général pour les grosses pièces de forge ; mais alors il ne peut être trempé et il ne se soude qu'avec difficulté. Il est donc évident que ce n'est pas l'espèce de métal ou d'acier à employer pour tous les usages où il faut souder ou pour ceux où la dureté combinée avec la flexibilité et l'élasticité est essentielle, ou encore pour les articles qui ont besoin d'un beau poli ou d'un tranchant fin et délicat.

« Quand on laisse dans le métal une plus grande proportion de carbone, il est difficile d'obtenir l'homogénéité, et on n'est pas même certain que tous les lingots provenant d'une même opération puissent être employés.

« La pratique a aussi montré que, dans ce procédé comme dans les anciens, la qualité du produit obtenu dépend beaucoup de la nature ou des propriétés de la matière première. On ne peut faire du bon Bes-

Digitized by Google

sources. Ils fabriquent dans le convertisseur les natures d'acier les plus diverses en les adaptant aux usages spéciaux ; ils y arrivent par des mélanges de fontes de provenance variée, mélanges dont l'affinage au convertisseur est dirigé au moyen du spectroscope. Ils exposaient en 1867, entre autres choses, des produits en *Atlas metal*, qualité d'acier remarquable par sa ténacité et sa douceur, en même temps que par la finesse de son grain et la manière dont il prenait la trempe. On voyait aussi dans la section d'orfévrerie, chez une maison de Londres, un magnifique bouclier couvert de sujets et d'ornements repoussés au marteau et dont une grande partie était en métal Bessemer de MM. J. Brown et Cᵉ. Leur usine *Atlas Works*, dont nous avons déjà parlé, fabrique principalement des plaques de blindage, des rails en fer fin ou en acier, des bandages de roues en fer ou en acier, des ressorts de suspension, de traction et de choc, des tôles de fer et d'acier pour construction de navires, des essieux de wagons, des boulets ronds ou cylindriques en acier, des aciers à outils, etc. Le tonnage hebdomadaire de

---

semer avec des fontes inférieures ou non convenables. Un homme faisant autorité aussi bien au point de vue pratique qu'au point de vue scientifique, en écrivant à un membre du jury, donne l'appréciation suivante du procédé Bessemer :

« La différence entre les aciers de première marque fabriqués par « l'ancien système, avec des fers de Suède, et le métal produit par « M. Bessemer semble être que dans les premiers plusieurs bonnes « qualités aciéreuses sont combinées pour constituer l'excellence, tandis que dans le dernier il est difficile à présent d'obtenir dans un « échantillon plus d'une de ces qualités ; par exemple, s'il est dur, il « n'est pas flexible ; s'il est doux et flexible, il ne trempe pas. Le temps « aidé par l'expérience et l'adresse diminuera ou fera disparaître sans « doute quelques-uns de ces inconvénients, tandis que d'autres subsisteront comme inhérents au procédé lui-même. »

Le temps a, en effet, amené des améliorations plus grandes que l'auteur des lignes précédentes ne le prévoyait. Quant au reproche d'exiger des matières premières de bonne qualité, il est réellement bizarre, puisque par aucun des procédés connus on ne fait un bon produit avec de mauvaises matières. Les fontes à Bessemer sont heureusement plus répandues que les fers à cémenter.

Digitized by Google

l'acier Bessemer qui en sortait atteignait 700 tonnes en 1867, avec 4 convertisseurs seulement; il doit actuellement être arrivé à 1 000 tonnes.

*MM. Charles Cammell et C*e sont les émules et les voisins de sir John Brown. Leurs usines (*Cyclops Works*) sont au nombre de trois, et comprennent : à Sheffield, 2 convertisseurs de 4 tonnes; à Penistone, 4 convertisseurs de 7 tonnes. On martèle les lingots sous des marteaux pilons de 7000 kilogrammes à Sheffield et de 12000 kilogrammes à Penistone. Dans l'usine neuve de Grimsthorpe, il y a, dit-on, un marteau pilon de 25 tonnes.

Dans le groupe des Lacs se trouvent plusieurs fabriques importantes d'acier Bessemer. La plus grande, qui est aussi la plus considérable d'Angleterre, est l'*usine de Barrow*, appartenant à la Barrow Hematite Steel Company, qui possède aussi les 11 hauts fourneaux adjacents. L'aciérie de Barrow est formée d'un bâtiment long de 225 mètres en deux travées larges de 26 et 32 mètres. A l'une des extrémités de la travée la plus étroite se trouvent 4 convertisseurs de 5 tonnes, disposés en deux paires adossées, derrière chacune desquelles se trouvent 14 fours à réverbère système Clayton (sole mobile) pour la fusion. Dans l'autre travée, il y a deux groupes de 3 convertisseurs de 7 tonnes chacun; les trois appareils de chaque groupe peuvent verser leur contenu dans une même poche; ils sont disposés de façon à recevoir directement la fonte des hauts fourneaux; leurs crémaillères de rotation sont verticales pour économiser la place. Les 10 convertisseurs, desservis par 9 marteaux pilons ordinaires et un marteau duplex, système Ramsbottom, et par un certain nombre de fours à réchauffer, système Siemens, occupent la moitié de la longueur du bâtiment; le reste est destiné aux trains de laminoirs (marchand, à rails, à tôles, à blindages). Dans une dépendance de l'usine se trouve une machine à essayer l'acier, système Kirkaldy, capable d'exercer une traction de 115000 kilogrammes. L'acier de Barrow est très-doux et très-ductile, ainsi que le montreront deux exemples. Un barreau rond de 34 millimètres et demi de dia-

Digitized by Google

mètre et de 575 millimètres de longueur s'est allongé de 112 millimètres sans rompre, sous une charge de 41 767 kilogrammes. Un autre barreau semblable s'est rompu sous une charge de 43 036 kilogrammes, après un allongement de 119 millimètres, la section de rupture n'ayant plus que 25 millimètres de diamètre. On voyait à l'Exposition des spécimens de bandages, d'essieux, de rails Bessemer de Barrow, noués, tordus, tressés, etc., qui illustraient l'excellente qualité du métal.

En Ecosse, on compte une seule aciérie, l'*usine de MM. Rowan et Cᵉ* (*Atlas Works*, à Glascow), qui ne possède que 1 convertisseur.

A Liverpool, l'*usine de Mersey Steel and Iron Works* possède 2 convertisseurs de 5 tonnes qui ne fonctionnaient pas en 1868 ; il en était de même de ceux de la *Lancashire Steel Company*, à Gorton.

A Manchester, la *Manchester Steel and Railway plant Company* possède l'*usine de Gibraltar*, qui comprend 2 convertisseurs de 4 tonnes. On y refond la fonte dans des cubilots Woodward à jet de vapeur ; tous les fours à réchauffer sont disposés d'après le système Siemens.

A *Crewe*, la Compagnie du London and North-Western Railway possède une des plus intéressantes aciéries de l'Angleterre. Elle comprend 4 convertisseurs de 5 tonnes qui font 12 à 14 opérations par jour, soit 325 tonnes de lingots par semaine, dont la majeure partie est transformée en rails. Ils sont soufflés à 94 centimètres de mercure par une machine soufflante à deux cylindres construite par M. Hick, de Bolton. Les cylindres soufflants ont 1ᵐ,35 de diamètre, et les cylindres vapeur 90 centimètres, la course commune étant 1ᵐ,525 ; le nombre de coups est ordinairement de 23 par minute, la pression de la vapeur étant 3 atmosphères et demie. On est allé à 26 tours pour avoir du vent à 104 centimètres de mercure. Les garnitures en *ganister* durent 90 à 120 fusions, soit 450 à 600 tonnes d'acier. Les lingots pour rails sont réchauffés et comprimés dans une machine à serrer (cogging mill) inventée par M. Ramsbottom,

Digitized by Google

le directeur bien connu des ateliers de la Compagnie, puis réchauffés encore et laminés. Deux marteaux pilons horizontaux duplex se trouvent à Crewe, l'un de 10 tonnes, l'autre de 30 tonnes. Dans cette usine, toutes les manœuvres se font hydrauliquement : une machine à vapeur double meut 4 pompes foulantes qui alimentent un accumulateur chargé à 25 atmosphères ; celui-ci met en train ou arrête la machine par ses mouvements. L'eau fait tourner les convertisseurs, les grues, presse sur les cylindres des machines à serrer, fait changer le sens du mouvement du train à tôles, etc. L'usine de Crewe, qui met en plein relief le génie mécanique de son créateur, M. Ramsbottom, mérite l'attention de tous les ingénieurs ou maîtres de forges.

Dans le pays de Galles, l'*usine de Dowlais* fabrique avec des fontes d'hématite de l'acier Bessemer dans 6 convertisseurs de 5 tonnes.

Voici pour terminer la liste complète des usines à Bessemer qui existaient en 1868 dans la Grande-Bretagne :

Yorkshire.	MM. Henri Bessemer et Ce, à Sheffield	1	convertisseur	de 500 kil.
—	—	2	—	de 4 tonnes.
—	MM. John Brown et Ce, à Sheffield	2	—	de 10 à 12 tonnes.
—	—	4	—	de 4 à 6 tonnes.
—	MM. Ch. Cammell et Ce, à Sheffield	2	—	de 4 tonnes.
—	Compagnie des aciers du Yorkshire, à Penistone	4	—	de 7 —
—	MM. Thompson et Armstrong, à Normanton	?		
—	MM. Samuel Fox et Ce, à Deepcar	2	—	de 4 —
Durham.	Compagnie de Weardale, à Towlaw	4	—	de 3 —
Ecosse.	MM. J.-M. Rowan et Ce, Glasgow	1	—	de 3 —
Cumberland.	Usine de Workington, à Workington	?		
Lancashire.	Compagnie des aciers d'hématite, à Barrow	4	—	de 5 —
—	—	6	—	de 7 —
—	Compagnie des aciers du Lancashire, à Gorton	2	—	de 6 —

Digitized by Google

Lancashire.	Aciérie de Bolton, à Bolton....	2	convertisseurs	de 5 tonnes.
—	Aciéries et forges de la Mersey, à Liverpool.....	2	—	de 5 —
—	Usine de Gibraltar, à Manchester.	4	—	de 3 —
Cheshire.	London and N.-W. Railway, à Crewe.....	4	—	de 5 —
Staffordshire.	MM. Lloyd, Foster et Ce, à Wednesbury.....	2	—	de 3 —
Pays de Galles.	Compagnie des forges de Dowlais; à Dowlais.....	6	—	de 8 —
—	Compagnie des forges d'Ebbwvale, à Ebbwvale.....	2	—	de 5 —
—	—	1	—	de 1 1/2 —
Londres.	MM. Bessemer frères, à Greenwich.....	2	—	de 5 —

On voit donc que dans ces 19 usines la capacité cumulée des 59 convertisseurs dépasse 300 tonnes, de sorte qu'en comptant 4 opérations seulement par jour en moyenne et 300 jours de travail, la production d'acier Bessemer en Angleterre pourrait atteindre 350 000 tonnes par an.

QUATRIÈME SECTION

Le procédé Bessemer en Suède et en Russie.

SUÈDE. — Ainsi que nous l'avons déjà dit, c'est en 1858 que M. Goranson, de Gefle, introduisit le nouveau procédé dans son usine d'Edsken; la première opération fut faite le 5 janvier 1859, et son succès complet acheva de démontrer l'importance de l'invention. En 1864, la Suède produisait déjà 3 179 tonnes du nouveau produit. En 1865, le tonnage dépassait 6000 tonnes, obtenues dans 5 usines. En 1868, le nombre des usines à Bessemer était de 8, savoir :

PROVINCES.	NOMS des usines.	PROPRIÉTAIRES.	NOMBRE de convertisseurs.	
Westerbotten.	Savenaes	»	2	de 2 tonnes.
Gefleborg.	Sundviken.	Société d'Hoegbo.....	2	de 4 —
—	Hoegbo.	—	2	de 1 1/2 t.
Stora Kopparberg.	Baecka.	»	2	de 2 tonnes.
—	Siljansfors.	M. Sundblad	2	de 2 —
—	Kloster.	M. Lagergren.....	2	de 2 —
Upsala.	Sederfors.	M. Oestberg.....	2	de 2 —
Oerebro.	Carlsdahl.	M. Lindberg.....	2	de 2 —
Westeraes.	Fagersta.	M. C. Aspelin.....	2	de 2 —

Digitized by Google

La production d'acier doit avoir dépassé 10000 tonnes, malgré l'extinction de quelques usines.

La *Société d'Hoegbo*, dirigée par M. Goranson, a transformé l'usine d'*Edsken* en un simple atelier d'étirage à 2 marteaux, en transportant les 2 convertisseurs fixes à *Hoegbo*, près du haut fourneau, où ils peuvent faire des lingots de 1000 kilogrammes environ ; puis elle a créé la belle usine de *Sandviken*, où se trouvent, auprès d'un grand haut fourneau, les 2 seuls convertisseurs oscillants de la Suède. Malheureusement la faillite d'une importante maison de banque anglaise a forcé, à son début, la Société d'Hoegbo d'arrêter ses opérations, et ses usines étaient éteintes en 1867. Celle de Sandviken renferme un matériel puissant pour l'étirage et le forgeage de l'acier, pour la fabrication des bandages, essieux, roues, arbres, tiges de piston, etc. A l'Exposition de 1867, M. A. Michalsson, de Stockholm, exposait des aciers fabriqués à Hoegbo avec des fontes de Dannemora, sous forme de lingots ressués et forgés (teneur en carbone variant de 0,9 à 1,3 pour 100), de barres plates, carrées, rondes, octogonales, ovales (teneur en carbone variant de 0,80 à 1,50), puis des limes, rasoirs, canons de fusils, ciseaux, couteaux, fourchettes, fabriqués avec ces aciers.

L'*usine de Siljansfors* exposait quelques barres d'acier, avec les teneurs en carbone poinçonnées sur les barres, depuis 0,1 pour 100 et 0,5 pour 100 jusqu'à 1,20 pour 100.

La *forge de Kloster*, alimentée par le haut fourneau de Langshyttan, exposait des fontes truitées et rayonnées pour bessemer, des lingots à 0,34 et 0,80 pour 100 de carbone, des cornières, de petits rails en bessemer.

M. Lindberg, de *Carlsdahl*, exposait des lingots bruts à 0,8 et 1 pour 100, des lingots forgés formant toute la série depuis 0,2 jusqu'à 1,30 pour 100, des aciers pour outils de mine (teneur, 1,0, 0,9, 0,6), des essieux montés, des fils d'acier.

Les *usines de Fagersta*, appartenant à M. Ch. Aspelin, dont nous avons déjà parlé à propos de leurs hauts fourneaux, possèdent 2 convertisseurs de 1740 kilogrammes chacun.

Digitized by Google

On y fait ordinairement 5 coulées par jour, en produisant 8000 kilogrammes d'acier ; on emploie quinze ouvriers ; la force motrice hydraulique est de 90 chevaux et la main-d'œuvre par tonne coûte 13 francs environ.

Les usines de Fagersta avaient une des plus belles collections d'acier dans toute l'Exposition, accompagnée de renseignements très-intéressants. A côté d'une série d'échantillons composés chacun d'un lingot brut et d'une barre martelée, on voyait la scorie de la fin de l'opération, noire, à reflets métalliques, massive et un peu caverneuse, avec l'analyse suivante :

Silice.	44,30	d'où oxygène	23,00	28,10
Alumine	10,85	—	5,10	
Chaux	0,65	—	0,20	10,05
Magnésie.	0,45	—	0,15	
Protoxyde de manganèse.	24,55	—	5,50	
— de fer.	19,45	—	4,20	
	100,25			

La série comprenait treize variétés d'aciers contenant depuis 0,1 jusqu'à 1,30 pour 100 de carbone ; le grain devient de plus en plus fin à mesure que la carburation augmente ; l'acier à 0,1 pour 100 a un grain ouvert un peu poreux qui rappelle le numéro 2 des fontes grises de moulage. M. Aspelin exposait aussi une série d'aciers Bessemer corroyés dans un four à gaz, martelés, puis trempés d'une à cinquante fois pour faire voir comment se maintient la nature aciéreuse après les incandescences répétées (à la cinquantième fois le grain, toujours très-fin, paraît un peu moins serré, mais c'est toujours de l'acier). On voyait aussi un foret d'acier à 1,50 pour 100 de carbone, ayant servi à perforer une plaque d'acier à 1 pour 100 trempée avant le forage ; malgré la dureté excessive de cette dernière, le foret est bien conservé. Un tableau très-intéressant exposé encore par l'usine de Fagersta était celui des échantillons d'aciers différemment carburés essayés à la traction. En voici la copie :

Digitized by Google

Numéros des échantillons.	Carbone pour 100.	Section moyenne avant l'allongement en millimètres carrés	Charge de rupture totale en kilog.	Charge de rupture par millimètre carré.	Rupture. Section de rupture en millimètres carrés.	Rupture. Rapport de la section de rupture à la section primitive.	Rupture. Charge par millimètre carré de la section de rupture	Allongement pour 100.
1	0,45	93.78	6649.6	70.90	64,25	68,50	103,50	10.3
2	0.45	90.52	6649 6	73,37	74 22	81,90	89,60	9 2
3	0,90	94,92	9041,2	95.25	76,73	80,80	117,83	6,7
4	0,70	151.47	13397,6	88,45	130.71	86.30	102.50	1,5
5	0,70	101,56	7290.2	71,78	84.76	83.46	86.01	4.0
6	0.70	98,11	8998.6	91,72	90,32	92,05	99,62	5,4
7	0.70	96 16	7747,3	80,25	79.38	82,55	97,22	5,8
8	1,00	151.16	13611,0	90,04	144,65	95,69	94,10	2,3
9	1,00	98,24	9169.2	93,33	90,32	91.93	101,52	6.6
10	1,00	96,79	9852.7	101,79	90,32	93,31	109,09	4,0
11	0,35	150,41	7375,6	49,04	55,12	36,65	133,80	12,0

Outre ce tableau, M. Ch. Aspelin présentait encore une nombreuse série d'échantillons d'acier qui ont été soumis, chez M. D. Kirkaldy, à des essais pour la résistance à la traction, à la compression, à la flexion, à la torsion, au cisaillement, à l'emboutissage, au poinçonnage : ces échantillons présentant des carburations variées de 0,01 pour 100 à 1,2 pour 100. Dans les échantillons rompus par traction, on remarquait une diminution de section notable et une cassure nette, pas toujours très-uniforme comme grain. A la compression, les échantillons se sont renflés sans criquer sur leur surface extérieure. Les barres carrées soumises à la flexion portaient sur leur surface des rayures longitudinales et transversales équidistantes qui servent à montrer le déplacement que subit la matière et qui permettent d'apprécier la position de la fibre neutre. Dans les aciers durs, il se produit en même temps deux lignes de fracture dans la concavité de la barre; ces lignes convergent vers un point placé sur la ligne neutre, de façon à séparer de la barre une sorte de prisme de rupture à section à peu près triangulaire. L'angle de ce prisme est d'autant plus obtus que l'acier est plus carburé; la fibre neutre se rapproche d'autant plus de la concavité de la barre que l'acier est plus dur ; avec l'acier à 1 pour 100 de carbone, elle se trouve à peu près au milieu de l'épaisseur ; avec l'acier très-doux, la flexion se fait sans

Digitized by Google

rupture. Pour les essais à la torsion, on fait une raie longitudinale sur chacune des barres cylindriques soumises à l'essai; le nombre de tours de spire que fait cette ligne et la régularité de ces spires servent à apprécier le degré de ductilité et d'homogénéité du métal. On voyait à côté des échantillons des copeaux d'acier à 0,9 pour 100 ayant 8 mètres de longueur, et d'acier à 0,3 pour 100 ayant 11 mètres de longueur. M. Aspelin faisait distribuer aux visiteurs compétents des exemplaires imprimés des tableaux d'expériences de M. Kirkaldy.

L'exposition de Fagersta comprenait encore des spécimens de produits finis, tels que des essieux de chemins de fer en acier à 0,3 et 0,4 pour 100 de carbone (avec cassures et flexions à froid), des bandages en acier à 0,5 pour 100 pour wagons et locomotives, des canons de fusils soudés, d'autres sans soudure, forgés et étirés par le système Deakin et Johnson, des tubes obtenus par ce même système, un miroir d'acier très-clair et très-net, des fils d'acier gros et fins (le numéro 47 était le plus fin), des lames de scies droites et circulaires, des lames d'épées, de sabres droits et courbes, des couteaux, des ciseaux, des rasoirs, des limes, le tout portant la marque de Fagersta, qui est une fleur à quatre pétales.

Les produits de M. Aspelin étaient cotés pour la tonne rendue dans un port de Suède : 350 francs les lingots bruts, 600 et 700 francs les grosses barres étirés, 950 et 1150 les aciers à outils.

Les usines suédoises classent les aciers en neuf catégories différentes, d'après la manière dont ils se travaillent et l'examen de leur cassure. Le dosage du carbone a permis de constater que ce classement correspondait tout à fait au degré de carburation. Les catégories sont : nos 1, 1 1/2, 2, 2 1/2,... 5 ; le numéro 1 contenant 2 pour 100, et le numéro 5 seulement des traces de carbone. Quelques usines poinçonnent ces numéros sur leurs barres ; la plupart des autres y poinçonnent l'indication des teneurs en carbone. Voici en abrégé le procédé de titrage dû à M. Eggertz, qui est employé par elles.

Digitized by Google

On dissout à la température de 80 degrés 1 décigramme (0g,1) de fer ou d'acier en limaille dans l'acide azotique de pesanteur spécifique 1, 2, dans un tube de verre. Quand la dissolution est complète, elle prend une couleur brune-jaunâtre d'autant plus foncée que la quantité de carbone est plus grande. On verse la solution dans une burette graduée, et on ajoute de l'eau jusqu'à ce que la couleur corresponde à celle d'une solution normale. On a deux solutions normales : l'une, n° 1, correspond à 0,1 pour 100 de carbone par centimètre cube ; l'autre, n° 2, correspond à 0,033 pour 100 de carbone par centimètre cube. (Voir la *Berg und Huettenmannische Zeitung*, 1863, n° 44.)

D'après M. Aspelin, voici quelles sont les applications des diverses natures d'acier :

1,00 à 1,30	pour 100	de carbone.	Limes et burins.
1,10	—	—	Crochets de tour.
1,00 à 1,10	—	—	Fleurets de mines.
1,00	—	—	Rasoirs.
0,80	—	—	Scies.
0,60 à 0,80	—	—	Lames de sabres.
0,60 à 0,70	—	—	Marteaux et massettes.
0,60	—	—	Ressorts.
0,50	—	—	Baïonnettes.
0,30 à 0,50	—	—	Canons de fusils forés.
0,10 à 0,30	—	—	Essieux et bandages, tôles et canons de fusils soudés.

Un constructeur de machines, *M. Palmaer*, de Carlsborg-Forsvik, exposait une machine soufflante Bessemer conduite par un arbre à poulies et des courroies, qu'il cotait 2 800 fr. Elle ne présentait du reste rien de particulier.

Russie. — Le procédé Bessemer a été introduit en Russie en 1863 par les *usines de Votkinsk* (gouvernement de Viatka), qui exposaient en 1867 des barres cotées 38 à 50 francs les 100 kilogrammes.

A *Nijni-Taguil*, chez M. Demidoff, on fabrique aussi de l'acier Bessemer, dans un convertisseur mobile qui n'est soufflé que par deux tuyères latérales, au lieu d'être soufflé par un grand nombre de tuyères verticales. Cette modifi-

Digitized by Google

cation d'appareil paraît avoir réussi, puisque les opérations sont bonnes et que les tuyères résistent à 120 opérations environ.

Les tôles Bessemer de Votkinsk ont une résistance de 43k,9 par millimètre carré dans le sens du laminage, et de 37k,4 dans le sens perpendiculaire. L'acier en barres rondes a résisté jusqu'à 48k,7 par millimètre carré.

CINQUIÈME SECTION

Le procédé Bessemer en Autriche.

Préliminaires. — C'est à M. Tunner, professeur de métallurgie à l'école de Léoben, que l'Autriche doit l'introduction du procédé Bessemer dans ses usines. On l'essaya à Turrach en 1863, et depuis cette date il a pris une extension assez notable dans les districts métallurgiques de Styrie et de Carinthie. En 1866, la production d'acier Bessemer atteignait 9000 tonnes. En 1868, sept usines y participaient, savoir :

PROVINCES.	NOMS des usines.	PROPRIÉTAIRES.	NOMBRE de convertisseurs.
Styrie.	Turrach.	Prince de Schwarzenberg.....	3 de 2 tonnes.
—	Neuberg.	L'Etat.....	2 de 4 et 5 t.
—	Gratz.	Compagnie des ch. de fer du Sud.	2 de 4 1/2 t.
Carinthie.	Heft.	Compagnie Rauscher.....	2 de 3 1/2 t.
—	—	—	1 de 2 tonnes.
Banat.	Reschicza.	Comp. des ch. de fer Autrich...	2 de 5 —
Moravie.	Witkowitz.	MM. de Rothschild.....	3 de 3 —

On attache une grande importance dans les usines autrichiennes au classement des aciers obtenus, et on se sert d'une *échelle de dureté* établie par M. Tunner, et qui est la suivante :

N° 1 (1,50 pour 100 env. de carbone), malléable, mais non soudable.
— 2 (1,25 — —), malléable, soude mal.
— 3 (1,00 — —), très-malléable, soude difficilement.
— 4 (0,75 — —), très-mall., soude aisément.
— 5 (0,50 — —), très-malléable, très-soudable.
— 6 (0,25 — —), trempe très-peu.
— 7 (0,05 — —), ne trempe pas.

Digitized by Google

Le numéro 1 correspond au numéro 2 des Suédois. Le numéro 3 est de l'acier *dur*, le numéro 4 de l'acier *ordinaire*, le numéro 5 de l'acier *doux*, le numéro 6 du fer dur, le numéro 7 du fer doux ou *homogène*. Cette échelle est si connue, que les ouvriers se trompent rarement en déterminant le numéro d'après le grain des barres; l'analyse chimique et l'essai du métal à la forge se trouvent toujours d'accord avec l'appréciation de l'ouvrier.

Usine impériale de Neuberg. — C'est en 1864 qu'on construisit à Neuberg un atelier Bessemer avec 2 convertisseurs mobiles disposés de façon à recevoir directement la fonte liquide des deux hauts fourneaux. Ces convertisseurs peuvent traiter des charges de 3 750 à 5 000 kilogrammes; l'atelier, qui peut produire annuellement 4 000 tonnes d'acier, comprend en outre un cubilot et un four à réverbère, une machine soufflante de 250 chevaux, la machinerie hydraulique et une grue à vapeur de 11 tonnes. Parmi les appareils de la forge se trouve un marteau pilon de 17 tonnes et de $2^{m},60$ de levée avec une chabotte de 175 tonnes; la fondation de cette chabotte comprend 62 mètres cubes de bois de chêne et 22 tonnes et demie de frettes en fer forgé; elle repose sur le rocher.

L'acier Bessemer de Neuberg a rapidement acquis une grande réputation, grâce à la pureté des fontes employées et à la puissance des moyens de fabrication; il est surtout employé en tôles de chaudières pour locomotives et machines fixes, en essieux et bandages pour chemins de fer, en limes, faux et pièces de machines diverses. On a fourni en 1866 les pièces pour soixante locomotives. Cet acier se distingue aussi bien par sa grande pureté que par sa ténacité particulière et par sa ductilité et sa malléabilité peu ordinaires avec ses divers degrés de dureté. Sous ces derniers rapports, il ne le cède en rien aux meilleurs aciers de creuset, et il coûte bien meilleur marché.

L'exposition de Neuberg a arrêté devant elle tous les visiteurs et les a émerveillés par les preuves de qualité extraordinaire qu'elle présentait. Sans parler des lingots de di-

Digitized by Google

verses duretés avec les cassures soigneusement garanties de la poussière et de la rouille, des lopins d'acier martelé et laminé, et de l'échelle de dureté, on voyait toute une série d'échantillons de produits finis, comme tôles pour chaudières, fond de boîte à feu pour locomotive, disque, cylindre d'impression pour étoffes, essieu de locomotive, tiges rondes, barres d'acier à outils, bandages, acier pour frettes, lames de scies, faux et serpes (fabriquées par M. Aigner de Mürzzuschlag), limes (de Anselm Schütz de Neustadt), fils d'acier (d'Antoine Fischer à Saint-Egidi), arbres, canons de fusils, outils divers, vases en tôle d'acier embouti (de Hardt, à Vienne), etc. Des épreuves d'emboutissage, de soudage, de tournage rendaient palpables pour tous les excellentes qualités du métal. Un document imprimé distribué aux visiteurs fournissait des renseignements inédits et intéressants sur cet acier.

Voici le tableau de l'échelle de dureté de Neuberg :

DEGRÉ de dureté.	TENEUR en carbone.	CHARGE DE RUPTURE par millim. carré de la sect. primitive.	ALLONGEM. à la rupture.	SE LAISSE Soudér.	SE LAISSE Trempes.
N° I (¹).	1,38—1,58				
— II (²).	1,12—1,38				
— III (³).	0,88—1,12	88k,77—104k,92	5 °/o	Bien.	Avec précaut.
— IV (⁴).	0,62—0,88	72 ,63— 88 ,77	10—05 —	Tr-bien.	Très-bien.
— V (⁵).	0,38—0,62	56 ,49— 72 ,63	20—10 —	—	—
— VI (⁶).	0,15—0,38	48 ,42— 56 ,49	25—20 —	—	Moins bien.
— VII (⁷).	0,05—0,15	40 ,35— 48 ,42	30—25 —	—	Pas du tout.

Applications principales : (¹) pas d'emploi ordinaire ; (²) idem ; (³) A ; (⁴) B ; (⁵) C ; (⁶) D ; (⁷) E.

A. Trépans et mèches de tarières, lames de ciseaux, fleurets de mineurs, forets, ressorts fins, tôles pour lames de scies, etc.

B. Outils tranchants, limes, faux, tarières anglaises, scies, etc.

C. Bandages de roues, pièces de machines, ressorts, tôles, cornières, canons de fusils.

D. Tôles pour chaudières, essieux, pièces de construction, tôles fines pour emboutissages, lames de sabres, fils d'archal, canons de fusils, etc.

Digitized by Google

E. Essieux et pièces de machines, tôles douces, fils d'archal, etc.

Neuberg cotait ses produits 30 fr. 80 les 100 kilogrammes pour les lingots, 40 à 56 francs pour les aciers laminés, cornières et essieux, 65 à 74 francs pour les aciers laminés durs, 46 à 60 francs pour les tôles de bateaux et chaudières, 58 à 64 francs pour les bandages de roues soudés, tous ces produits pris à Neuberg.

On avait commencé à Neuberg à employer le convertisseur fixe, mais on y a renoncé pour se servir uniquement de l'appareil oscillant. Tantôt on opère à la mode suédoise sans addition finale de fonte ; tantôt on ajoute à la fin une petite proportion de la même fonte que celle primitive (qui est assez pure pour n'avoir pas besoin de speigeleisen à fortes teneurs en manganèse).

Pour augmenter l'épuration, on a employé le plomb en l'ajoutant dans le convertisseur, mais sans résultats sérieux. On se sert au contraire assez couramment d'injections de charbon en poudre avec le vent pour donner de la chaleur aux fontes froides et d'injections de sel marin pour rendre la scorie plus fluide. Pour tirer parti des riblons d'acier venant du puddlage, on les ajoute aux charges chaudes, au commencement de la période d'affinage, avant ce qu'on appelle le *faux* VII. Ce dernier phénomène apparaît peu avant le commencement de la période ; la flamme se raccourcit et disparaît comme si la décarburation était terminée, et si on était arrivé au numéro VII ; tandis que si on vidait l'appareil on aurait du numéro II ou III et non du numéro VII. Puis la flamme réapparaît, s'allonge et dure jusqu'à la fin de la période, où elle disparaît alors lorsque le métal est du numéro VII. Ce phénomène n'est point redouté ; au contraire, il aide pour les charges chaudes à déterminer une certaine phase de l'opération, le commencement de la période d'affinage ; aussi longtemps que dure le *faux* VII (*falsche siebener*), on ne peut voir avec certitude dans le spectroscope aucune des raies de l'oxyde de carbone, parce qu'il y a trop de fumée et trop peu de flamme. Comme on ne

Digitized by Google

souffle pas à Neuberg jusqu'à décarburation complète, comme à Gratz, l'emploi du spectroscope ne pourrait servir qu'à l'obtention des numéros VII mous, à moins qu'on ne voulût employer le système anglais avec addition de spiegeleisen, ce qui augmenterait le prix de revient. Aussi, pour diriger le travail, on se sert de la prise d'essai de la scorie.

Voici, d'après un document officiel publié en 1867, l'étude d'une opération faite sur la charge n° 599 composée de 3 516 kilogrammes de fonte très-grise du haut fourneau n° 2 fabriquée avec des minerais d'Altenberg. La fonte fut placée dans un convertisseur où le vent arrivait par 49 ouvertures de 9 millimètres de diamètre avec une pression de 119 centimètres de mercure ; la première période dura vingt-huit minutes. La seconde période dura sept minutes seulement avec une pression réduite de 107 à 113 centimètres ; la troisième période trois minutes avec 113 centimètres de pression. Le produit fut 3 057 kilogrammes d'acier, ce qui indique un déchet de 17 pour 100 environ. Cette étude comprend les analyses du métal et de la scorie à diverses époques de l'opération.

A est la fonte primitive ; *B* est une prise d'essai à la fin de la première période ; *C*, une autre prise d'essai à la fin de la période de bouillonnement ; *D*, une troisième prise d'essai avant l'addition finale de fonte ; enfin *E*, le produit final après l'addition de fonte.

b est la scorie prise en même temps que *B* ; *c* celle correspondant à *C* ; de même *d* et *e* correspondent à *D* et *E*.

	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Graphite.	3,180	—	—	—	—
Carbone combiné.	0,750	2,465	0,949	0,087	0,234
Silicium	1,960	0,443	0,112	0,028	0,033
Manganèse. . . .	3,460	1,645	0,429	0,113	0,139
Soufre.	0,018	traces.	traces.	traces.	traces.
Phosphore	0,040	0,040	0,045	0,045	0,044
Cuivre.	0,085	0,091	0,095	0,120	0,105
Fer	90,507	95,316	98,370	99,607	99,445
	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Digitized by Google

	b	c	d	e
Silice	46,78	31,75	46,75	47,25
Alumine	4,65	2,98	2,80	3,45
Protoxyde de fer	6,78	5,50	16,86	15,43
— de manganèse	37,00	37,90	32,23	31,89
Chaux	2,99	1,76	1,19	1,32
Magnésie	1,52	0,45	0,52	0,01
Potasse et soude	tr. sensibles.	traces.	traces.	traces.
Soufre	0,04	id.	id.	id.
Phosphore	0,03	0,02	0,01	0,01
	99,79	100,36	100,36	99,87

Voici encore également d'après des documents authentiques les résultats de l'atelier Bessemer pendant l'année 1866, qui a été le premier exercice complet pendant les trois premiers trimestres de 1867 :

	1866	1867		
		1er trim.	2e trim.	3e trim.
Nombre de charges	607	228	157	172
Fonte employée : tonnes.	2060,7	844,5	610,8	681,2
Production :				
Lingots	1718,6	717,5	506,0	579,4
Riblons d'acier	40,5	10,3	9,4	11,9
Projections	16,0	8,0	5,7	8,0
Fer de cheminée (1)	16,9	8,4	11,7	9,5
Total	1792,0	744,2	532,8	604,8

Donc 100 kilogrammes de fonte donnent :

Lingots	83,36	84,96	82,82	84,95
Riblons	1,96	1,21	1,54	1,61
Projections	0,78	0,95	0,93	1,30
Fer de cheminée	0,81	0,99	1,91	1,39
Déchet	13,09	11,89	12,80	11,05
	100,00	100,00	100,00	100,00

Usine de Heft. — L'usine Bessemer date du premier trimestre 1864, et elle ne s'occupait d'abord que d'essais avec une production insignifiante. On avait seulement une souf-

(1) C'est le fer en globules projeté contre les parois de la cheminée.

Digitized by Google

flerie à deux cylindres horizontaux du système de MM. Leyser et Stiehler, de 65 centimètres de diamètre et autant de course, activée par une turbine Jonval de 140 chevaux pour laquelle on avait construit un réservoir de 4 266 mètres cubes d'eau.

Bientôt on agrandit l'usine. Au lieu d'un petit convertisseur suédois de 1m,25 de diamètre et de 1m,60 de hauteur, on en construisit un grand de 1m,58 de diamètre, 2m,45 de hauteur avec 23 tuyères de 17 millimètres de diamètre. Il fallut une grande soufflerie mue par une machine à vapeur de 300 chevaux ; on alimenta cette dernière avec 3 chaudières tubulaires ayant 128 tubes de 52 millimètres et présentant une surface de chauffe totale de 87 mètres carrés. La soufflerie fournit en marche ordinaire par minute 79 mètres cubes de vent à la pression atmosphérique et à 0 degré, et la pression maximum peut atteindre environ 2 atmosphères. Cette soufflerie est, comme la première, du système Leyser et Stiehler. Pour régulariser la pression, on a un régulateur sec de 19 mètres cubes de capacité.

La fonte du haut fourneau est introduite encore liquide dans le convertisseur ; le poids d'une charge varie ordinairement de 3 000 à 3 300 kilogrammes. Dans des cas extraordinaires, on va jusqu'à 3 500 kilogrammes.

La fonte, en sortant du creuset du haut fourneau, coule par une rigole dans une poche que quatre ouvriers soulèvent au moyen d'une grue au-dessus de la trémie de chargement de l'appareil, où ils la vident par une bonde de fond, après avoir préalablement par un coup de soufflerie débarrassé cet appareil des menus charbons qui ont servi à son chauffage. Pour déterminer le moment où il faut arrêter l'opération et couler, on se sert uniquement de l'examen de la flamme et des étincelles qui sortent du bec de l'appareil. On reçoit l'acier mélangé de scorie dans une poche en tôle garnie d'argile réfractaire munie de roues, et qui peut, au moyen d'une transmission sur un essieu, circuler sur un chemin de fer de façon à se placer sur chaque lingotière. Cette poche a préalablement reçu une faible proportion de fonte provenant du même haut fourneau. Le démou-

Digitized by Google

lage et le levage des lingots s'effectuent avec la grue déjà indiquée. Les lingotières ont une épaisseur de 52 millimètres et durent en moyenne 40 à 45 coulées; dans quelques cas, elles se sont trouvées encore bonnes après la 70e ou 75e coulée. La durée d'une opération varie de dix-huit à trente-cinq minutes, suivant la nature de la fonte employée. On a aussi obtenu de bons résultats avec des charges plus courtes ou plus longues, mais ce sont des exceptions. La pression du vent se maintient pendant la majeure partie de l'opération entre 60 et 90 centimètres de mercure; elle ne s'élève à 120 centimètres qu'au commencement de l'opération; elle atteint même quelquefois à ce moment 150 centimètres, soit 2 atmosphères.

Le nombre d'opérations en vingt-quatre heures est au maximum de 7; il est occasionnellement descendu à 3. Pour le travail régulier, il faut un contre-maître et sept ouvriers, ce qui grève la tonne de lingots de 12 francs pour main-d'œuvre. La durée d'un poste était en travail forcé huit heures, mais elle est maintenant en travail régulier douze heures. La plus forte charge traitée jusqu'à ce jour (1867) est de 3 295 kilogrammes. On admet que par tonne de fonte traitée il faut fournir 948 mètres cubes de vent (1 500 pieds cubes viennois par quintal douanier de 50 kilogrammes.)

La garniture réfractaire se fait avec des briques de quartz pilé et d'argile. La partie inférieure d'un convertisseur dure ordinairement pour 9 à 11 charges, au maximum pour 16 charges.

L'usine de Heft pouvait en 1867, avec 2 grands convertisseurs et 1 petit en réserve, produire annuellement 4 500 tonnes de lingots. Nous avons donné sa disposition dans les planches XIX, XX et XXI. Elle fabrique elle-même ses matériaux réfractaires. D'après les renseignements récents qui nous ont été communiqués, l'usine de Heft a été conduite à remplacer ses appareils suédois par des convertisseurs mobiles ordinaires.

Voici le roulement de l'usine pour les trois années 1864, 1865, 1866 :

Digitized by Google

	1864	1865	1866
Nombre d'opérations faites dans l'année.	216	506	1032
Fonte apportée dans l'appareil Bessemer.	339t,076	991t,469	2875t,568
Fonte ajoutée dans la poche de coulée.	2 ,105	6 ,941	56 ,890
Fonte totale employée en t. de 1000 kil.	341 ,181	998 ,410	2932 ,458
Production :			
1° Fonte, en tonnes de 1 000 kil.	»	2 .084	54 ,739
2° Lingots burinés. Nombre. . .	576	1 597	6 981
Acier n° I, en tonnes. . . .	1t,407	»	»
— II — . . .	4 ,133	4t,855	»
— III — . . .	13 ,729	29 ,810	5t,721
— IV — . . .	28 ,964	108 ,334	130,619
— V — . . .	43 ,687	193 ,273	535 ,747
— VI — . . .	54 ,775	284 ,772	1563 ,768
— VII — . . .	49 ,728	100 .419	144 .077
Poids total des lingots. .	196t,423	721t,463	2378t,937
3° Déchets divers.			
Jets de communication (1) . .	»	1t,510	9t,172
Fonds de poches.	31 ,293	102 ,455	85 ,768
Eclaboussures	26 ,614	1 ,473	10,667
Projections, soles et fers de cheminée	33,611	33 ,491	24 ,944
4° Production totale	287t,941	860t,392	2509t,483
100 kil. de fonte ont fourni :			
Fonte.	»	0k,21	1k,86
Lingots burinés	57k,57	72 ,26	81 ,12
Jets de communication. . . .	»	0 ,15	0 ,31
Fonds de poches.	9 ,17	10 ,26	2 ,92
Eclaboussures.	7 ,80	0 ,15	0 ,36
Projections, etc..	9 ,85	3 ,35	0 ,85
Perte au feu.	15 ,61	13 ,62	12 ,57
Consommations diverses :			
Tuyères.	»	»	3 719
Briques réfractaires, etc . . .	»	»	27 868
Charbon de bois en hectol.. .	1 027h	3 464h,5	17 919h,4
— par 1 000k de lingots.	5 ,9	5 ,3	7 ,5
Fondants (2), en tonnes. . . .	»	0t,579	0t,367

(1) A Heft on coule les lingots par groupes dans lesquels une lingotière centrale alimente les autres par des canaux de communication placés au-dessous.

(2) Les fondants dont il s'agit ici ont servi à des essais qui ne se sont pas continués ; on plaçait dans la poche des matières telles que l'oxyde de plomb, le bioxyde de manganèse, du sel marin, pour donner de la fluidité aux scories.

Digitized by Google

L'usine de Heft exposait en 1867 des lingots bruts dont un de 3100 kilogrammes, un gros lingot qui avait été martelé et étiré sur dimensions décroissantes à la forge de Storé, un arbre cylindrique poli et ajusté, et des échantillons de divers degrés de dureté, savoir : les numéros durs I (C = 1,45 pour 100), III (C = 1,25 pour 100), IV (C = 0,85 à 0,75 pour 100), et les numéros doux V (C = 0,42 pour 100), VI (C = 0,25 pour 100). Le classement se fait soigneusement d'après le grain qu'on examine avant et après la trempe des échantillons. On voyait aussi à l'Exposition des tournures d'acier Bessemer de Heft ayant plusieurs mètres de longueur. La scorie de Heft est de couleur brune rouge, fibreuse, avec une croûte cuivrée.

L'acier brut était coté par 100 kilogrammes, 31 fr. 20 en lingots de 50 à 2000 kilogrammes, et 36 fr. 40 en lingots de 2000 à 3500 kilogrammes.

Usine de Gratz. — Cette usine a été construite en 1865; elle occupe 32 ouvriers et peut produire annuellement 4200 tonnes d'acier Bessemer. Son matériel se compose de 2 convertisseurs de 4500 kilogrammes chacun, de 2 fours à réverbère, d'un four à spiegel, d'une soufflerie de 200 chevaux, d'une pompe à eau, de deux grues hydrauliques et d'une grue roulante.

A la fin de 1866, cette aciérie avait fabriqué 4600 tonnes d'acier employé partie pour des rails à tête d'acier, partie pour des essieux coudés et pour des essieux de locomotives et tenders appartenant à la Compagnie du chemin de fer du Sud. Elle exposait en 1867 des rails tout en acier, des rails de fer à champignon d'acier, des croisements de voie, des bandages et des essieux.

Nous ne donnerons pas de détails sur le travail de cette usine, et nous renverrons le lecteur aux *Annales des mines* (Mémoires de M. Castel, 6e série, t. VIII, p. 149 ; de M. Gruner, t. XII ; de M. Clérault, t. XIII).

Usine de Turrach. — Cette aciérie du prince de Schwarzenberg a la réputation pour les aciers durs, comme celle de Neuberg l'a pour les aciers durs ; elle classe aussi ses

Digitized by Google

produits en sept numéros de dureté. Ses prix étaient en 1867 32 fr. 50 les 100 kilogrammes en lingots de 50 à 1 300 kilogrammes, 46 à 51 francs en grosses barres, 56 à 65 francs en petites barres, le tout pris à Murau en Styrie. Elle exposait des enclumes, essieux de wagons et de voitures en acier Bessemer.

Usine de Reschicza. — Elle exposait en 1867 des essieux pliés à froid, des bandages de roues soudés, des rails tordus à froid, une tôle de chaudière (2 × 1,50 et 0,01 d'épaisseur) en acier Bessemer fabriqué avec les fontes de ses hauts fourneaux.

Usine de Wittkowitz. — Elle possède 2 convertisseurs oscillants de 4 tonnes et 1 de 2 tonnes, avec 3 grands fours à réverbère et 1 petit four à spiegeleisen, sans compter 1 four à réverbère à deux soles qui sert à alimenter le petit convertisseur. La fonte employée est une fonte moyennement grise de Hongrie, quelquefois des fontes de Mariazell ; le spiegeleisen vient de l'usine Concordia en Hongrie.

La machine soufflante construite par MM. Leyser et Stiehler a des cylindres vapeur de 660 millimètres de diamètre, des cylindres soufflants de 915 millimètres, la course commune étant de 93 centimètres. Les convertisseurs ont 12 tuyères portant chacune huit ou neuf trous de 8 millimètres de diamètre. La charge ordinaire est en moyenne de 3 600 kilogrammes environ, dont la fusion dure trois heures ; on ajoute 9 pour 100 de spiegeleisen. On fait 3 à 4 charges par poste de douze heures, et on ne travaille pas la nuit. Une série de tuyères dure 5 à 6 charges seulement, et il faut trente-six heures pour les changer, parce qu'on laisse refroidir assez l'appareil pour qu'un homme puisse y entrer. On fabrique par an à Wittkowitz environ 3 500 tonnes d'acier, que l'on classe d'après l'examen du métal après laminage et trempe.

D'après une observation, le travail d'une charge composée de deux tiers fonte de Hongrie et un tiers fonte de Styrie a duré vingt-trois minutes, savoir : douze minutes pour la période de scorification, huit pour celle de bouillonne-

Digitized by Google

ment et trois pour celle d'affinage. Deux tuyères étaient bouchées, de sorte qu'on soufflait par 80 trous de 8 millimètres. Pendant la première période, la soufflerie faisait 30 tours, et la pression du vent était de 89 centimètres de mercure; pendant la deuxième période, le nombre de tours était de 40 et la pression 71 centimètres; pendant la troisième, 45 à 50 et 89 centimètres.

On a essayé sans succès à Wittkowitz d'employer la fonte des hauts fourneaux de l'usine; elle est trop phosphoreuse. L'acier Bessemer est employé surtout pour rails et bandages, fort peu pour essieux et tôles.

Usine de Storé. — Cette usine, appartenant à M. Paul de Putzer et fondée en 1849, a été dans l'origine destinée au puddlage et au laminage; elle emploie les lignites anciens de ses mines de Pecovje, Gonze et Bresno et des fontes de Styrie et de Carinthie. Elle comprend tout le matériel nécessaire pour la fabrication annuelle de 4 500 tonnes environ de fers marchands et tôles; les fours à réchauffer ont des chauffes munies d'admission de vent sur l'autel pour brûler les gaz. L'usine possède aussi un haut fourneau de 5^{m},50 de hauteur pour le traitement des scories de puddlage et de réchauffage par le procédé Lang et Frey (M. Frey est le directeur de l'usine).

Depuis 1862, Storé s'est consacrée à la fabrication des grosses pièces de forge telles que blindages, arbres, manivelles, etc., et a établi un marteau pilon de 14 tonnes environ. Depuis 1864 elle a contracté une association avec l'usine de Heft pour le traitement des lingots bruts Bessemer, et c'est elle, la première en Autriche, qui a eu l'honneur de faire entrer le nouveau métal dans la consommation. Outre l'acier en barres de tous les degrés de dureté, outre les tôles à chaudières et les tôles fines, elle fabrique des pièces de machines pesant jusqu'à 3 300 kilogrammes. Nos lecteurs trouveront dans la *Revue universelle*, t. XX, p. 279, des détails intéressants par M. Habets sur le travail de l'acier à Storé. Nous donnerons seulement ici l'échelle de dureté que cette usine avait exposée en 1867 :

Digitized by Google

NUMÉROS	RÉSISTANCE ABSOLUE kil. par millim. carré.	DUCTILITÉ en centièmes.	PROPRIÉTÉS caractéristiques.	EMPLOI.	OBSERVATIONS.
I	120	»	»	Peu propre à un emploi direct ; utile comme matière très-carburée dans la fabrication de l'acier fondu.	
II	107 à 110	»	Se gerce très-facilement à la trempe.	Pour filières et autres pièces qui nécessitent une dureté extraordinaire et à l'ajustage desquelles on peut consacrer une attention particulière.	C'est l'acier Bessemer marqué *très-dur*.
III	85 à 101	»	Se trempe sans gerçures, se soude comme l'acier fondu.	Pour acier à outils, crochets de tour, marteaux à tailler les meules, outils de sondage, lames de scie, burins, pivots, etc., etc.	Se transforme aussi par la fusion en acier fondu de qual. sup. (*acier Bessemer raffiné*).
IV	73 à 80	»	Trempe très-bien et se soude bien.	Pour aciérer des outils de toute espèce, instruments d'agriculture, outils de mineurs, faux, hach -paille, marteaux, enclumes, étampes, limes, tarières, fils d'acier, lames de scie et pièces de machine qui ont besoin d'une grande dureté.	*Acier* proprement dit. On le raffine quelquefois par fusion pour les usages delicats.
V	60 à 73	8,5	Trempe complétement et soudable.	Pour ressorts de wagon et chaise, pour pièces de machines qui exigent en même temps un peu de dureté et beaucoup de roideur, comme tiges de piston, glissières ; pour bandages, rivets, tôles de grande résistance, lames de sabre, etc.	Est déjà un *acier doux*.
VI	49 à 57	9 à 12	Trempe moins bien, très-aisément soudable.	Pour pièces de machine, comme essieux, arbres, rails, manivelles, arbres coudés, tôles de chaudière, chaînes, canons, canons de fusil, en remplacement des meilleurs fers à fin grain, pour river à froid, etc.	Préférable au fer corroyé, à cause de son homogénéité et de la sûreté du travail.
VII	40 à 49	15 à 18	Ne trempe pas du tout, particulièrement soudable, identique au meilleur fer fin grain.	S'emploie comme le numéro VI, et surtout lorsqu'on a besoin en même temps d'une grande résistance et d'une grande ductilité comme pour beaucoup de tôles.	Idem.

Digitized by Google

Une commission a essayé à Venise les résistances comparées à la traction de l'acier Bessemer de Storé, de l'acier fondu d'Allemagne et du meilleur fer au bois de Styrie ; les résultats ont été les suivants :

	Charge de rupture.		Allongement.	
Acier Bessemer de Storé. .	77 kil. par mill. carré.		8,2 pour 100.	
Acier fondu d'Allemagne .	70	—	5,5	—
Fer au bois de Neuberg. ,	35	—	9,2	—

Quant au prix de l'acier de Storé, il était très-varié en 1867, suivant les dimensions et la forme des barres : le prix le plus bas était 40 francs pour l'acier en lingots, et le plus élevé 120 francs pour l'acier raffiné étiré en petites barres rondes ou octogones.

D'autres usines encore que celle de Storé dénaturent l'acier Bessemer et le mettent sous diverses formes, tôles unies ou vases culinaires emboutis, couverts de table, etc. ; nous dirons quelques mots plus loin de ces industries.

Quelques producteurs nouveaux se sont installés depuis 1867 ; nous citerons l'*usine de Ternitz* (basse Autriche), appartenant à une compagnie et possédant 2 convertisseurs de 4 tonnes et demie, et celle de *Zeltweg* (Styrie). En 1868, le nombre des usines à bessemer en Autriche était de 10.

SIXIÈME SECTION

Le procédé Bessemer en Allemagne, Belgique et Italie.

Prusse. — La Prusse est un des pays qui ont fait le plus grand emploi du procédé Bessemer, et elle y a trouvé d'autant plus d'avantages, que le gouvernement a refusé à M. Bessemer de lui accorder un brevet d'invention, en s'appuyant sur divers prétextes peu valables. Les industriels prussiens ont donc dès l'origine pu fabriquer de l'acier par le nouveau procédé, et ils ne s'en sont pas fait faute. Toutefois il est à remarquer qu'en 1867, aucun d'eux n'exposait franchement de l'acier Bessemer (sauf l'usine royale de Kœnigshütte) ; ils appelaient tous leur produit *acier au creuset*. Il

Digitized by Google

est vrai que, dans beaucoup de cas, ils raffinant l'acier par une seconde fusion au creuset ; c'est en particulier ce que fait M. Krupp. Voici, d'après diverses sources dans lesquelles nous avons confiance, la série des usines qui employaient le procédé Bessemer en 1868 :

Noms des usines.	Noms des propriétaires.	Nombre de convert.
Essen, en Westphalie.	M. F. Krupp (1).....	18 de 2 à 5 tonnes.
Bochum, id.	Société de Bochum.....	5 de 3 à 5 —
Hœrde, id.	Société de Hœrde (2).....	5 de 3 à 5 —
Oberhausen, id.	MM. Jacobi, Haniel et Huyssen	2 de 4 tonnes.
Dusseldorf, id.	MM. Pœnsgen, Giesberg et Cie.	2 de 3 —
Kœnigshütte, en Silésie.	L'Etat.....	2 de 4 —
Hahoue, id.	M. Borsig.....	4 de 4 —

Les aciéries de Westphalie emploient soit des fontes fabriquées dans la Prusse rhénane avec les minerais de Siegen et de Nassau, soit des fontes fabriquées dans le Hanovre à Georgmarienhütte. En 1864, nous avons vu fabriquer à Hochdahl des fontes à Bessemer pour M. Krupp ; en 1869, ce grand industriel fabriquait lui-même ses fontes dans les usines de Sayn qu'il a achetées à l'État. On éprouve cependant quelques difficultés dans cette fabrication, surtout pour les fontes chaudes, parce que la plupart des minerais peu manganésés sont un peu phosphoreux ; aussi emploie-t-on encore dans plusieurs aciéries prussiennes des fontes d'hématite anglaises. De plus, comme on a de la peine à fabriquer des fontes pures suffisamment chargées en silicium pour se traiter seules, on y remédie en traitant des fontes manganésées, comme nous l'avons vu faire à Hœrde, et comme nous l'avons expliqué dans la première section de ce chapitre.

Georgmarienhütte exposait des produits Bessemer fabriqués avec ses fontes, tels que barres rondes, rails, rails en acier Bessemer soudé sur fer, ciseaux fins, tôles embouties, fil

(1) Nous indiquons, d'après un témoin oculaire, le nombre de convertisseurs de Krupp en 1868.

(2) Nous avons vu nous-mêmes l'aciérie de Hœrde en 1868.

Digitized by Google

d'acier, etc. Deux certificats donnaient des renseignements intéressants sur la résistance du fil d'archal en acier Bessemer : 1° un fil, après avoir été laminé jusqu'au n° 21 (ancienne jauge française), soit $4^{mm},9$ de diamètre, a été étiré par 17 trous jusqu'au n° 4, soit $0^{mm},9$ *sans aucun recuit* ; 2° le fil, après avoir été laminé jusqu'au numéro 21 ($4^{mm},9$), puis étiré *sans recuit* jusqu'au numéro 16 ($2^{mm},7$), a été soumis à un effort de traction. Il a supporté avant le recuit 545 kilogrammes, soit $95^{k},2$ par millimètre carré, et après le recuit 345 kilogrammes, soit $60^{k},1$ par millimètre carré. Encastré entre deux points fixes sur une longueur de 157 millimètres, il a supporté avant le recuit 15 torsions, après le recuit 31 torsions.

L'aciérie dépendant de la grande usine de *Hœrde* près Dortmund possède deux ateliers, l'un à 2 convertisseurs avec 4 fours à réverbère à sole concave coulant par le côté pour la fonte grise et 2 petits pour le spiegeleisen, l'autre à 3 convertisseurs où la fonte est fondue dans des cubilots d'Ireland. Les garnitures réfractaires s'y font en poudingue d'Huy grillé, pulvérisé et mêlé d'un peu d'argile ; elles ne valent pas les quartz blancs qu'on emploie à Neuberg : ces garnitures se rongent très-vite, sans doute à cause de la teneur en manganèse des fontes traitées. Nous avons déjà dit qu'à Hœrde on fabriquait les aciers durs avec des mélanges qui renferment jusqu'à 3 pour 100 de manganèse et plus, à la condition qu'ils contiennent aussi une certaine proportion de silicium. Pour les aciers doux comme ceux destinés aux tôles de locomotive, on emploie des fontes d'hématite du Cumberland. Avec les fontes manganésées, certaines opérations ne durent que dix minutes de soufflage. On se guide à Hœrde pour la fin de l'affinage au moyen de l'examen de la flamme et de la prise d'essai de la scorie avec une tige de fer. Les fumées roussâtres abondantes qui sortent du bec empêchent, nous a-t-on dit, l'emploi du spectroscope ; nous n'en sommes pas convaincu. D'après une analyse qu'on nous a communiquée, ces fumées contiendraient :

Digitized by Google

Oxyde de manganèse.	45
Silice.	20
Oxyde de fer	10 à 15
Bases terreuses et alcalines. . .	20 à 25

On se sert de l'addition finale de spiegeleisen. On démoule les lingots très-chauds et on les martèle de suite au pilon Daelen.

L'aciérie construite en 1864 à *Alvenslebenhütte* (dépendance de Kœnigshütte), en Silésie, n'a commencé à travailler réellement qu'en 1867. Jusque-là, n'ayant pu fabriquer sur place des fontes convenables, on avait été réduit à faire venir des fontes d'Angleterre, ce qui était peu pratique. Actuellement on emploie des fontes coulant directement du haut fourneau dans le convertisseur au moyen d'une installation analogue à celle de l'usine de Terrenoire. Le haut fourneau fait trois coulées de 3 600 kilogrammes environ chacune, ce qui fournit 3 opérations par vingt-quatre heures. Les résultats sont pour 100 kilogrammes de fonte : 72 kilogrammes de lingots (ce qui est peu) ; bocages d'acier, 3 à 6 kilogrammes ; bocages de fonte, 4 à 5 ; déchet, 16 à 19 kilogrammes. L'acier coûte de fabrication, à Kœnigshütte, de 187 fr. 50 à 225 francs la tonne. Il est suffisamment bon pour des rails et autres articles de même nature ; mais sa qualité n'est pas supérieure. A l'Exposition de 1867, Kœnigshütte présentait, au milieu de spécimens assez peu remarquables et en désordre, un lingot et des rails Bessemer d'apparence médiocre.

Saxe royale. — La Saxe possède une fabrique d'acier Bessemer annexée à l'usine à fonte de la *Reine-Marie* (Kœnigin-Marienhütte) à Cainsdorf, près Zwickau. Cette fabrique comprend 2 convertisseurs de 3 à 4 tonnes avec les cubilots nécessaires pour la fusion des charges. Les fontes traitées étant passablement manganésifères, le travail a une grande analogie avec celui de l'usine de Hœrde. La production de Kœnigin-Marienhütte est très-restreinte du reste.

Belgique. — On sait déjà que la Belgique n'est pas un pays très-producteur d'acier. Il s'y trouve une seule acié-

Digitized by Google

rie Bessemer, qui fait partie de la grande *usine de Seraing*, et où l'on travaille des fontes achetées au dehors et surtout des fontes d'hématite du Cumberland; on n'a pu réussir à employer les fontes de Seraing, sans doute à cause de la teneur en phosphore de la plupart des minerais belges. Seraing possède 2 convertisseurs de 4 à 5 tonnes. Elle exposait en 1867 des rails, des bandages, des essieux de locomotive en acier Bessemer.

Italie. — M. Ponsard, ingénieur français, directeur des usines de Follonica, y a fait dès 1860 des essais du procédé Bessemer. En 1862 une commission dont il était membre fit essayer à Sheffield, chez M. Bessemer, des fontes italiennes de diverses provenances. En 1867, à l'Exposition, deux maisons italiennes présentaient des produits Bessemer. *MM. Novello, Ponsard et Gigli* exposaient des lingots bruts et étirés, des projectiles sphériques d'acier, ainsi que deux échantillons de cassures; leur usine était à Piombino. *M. Jacques Bozza*, directeur des usines Perseveranza, à Piombino et Volterra, exposait aussi des barres, tôles et rails en acier Bessemer, ainsi qu'un lingot et des projectiles cylindriques. Nous ignorons l'importance de ces établissements, et nous croyons qu'ils ne fonctionnent plus tous deux en ce moment.

SEPTIÈME SECTION

Le procédé Bessemer aux États-Unis et aux Indes.

États-Unis. — Les Américains réclament pour un de leurs compatriotes, M. W. Kelly, l'honneur d'avoir inventé le procédé pneumatique avant M. Bessemer. Les représentants de celui-ci, pour éviter une série de procès importants, ont dû s'entendre avec les ayants droit de M. Kelly, et aussi avec M. Mushet, dont le brevet relatif au spiegeleisen était encore valable aux États-Unis. Aujourd'hui (1868), sept usines américaines fabriquent de l'acier Bessemer; voici leurs noms:

Digitized by Google

ÉTATS.	NOMS des usines.	NOMS des propriétaires.	NOMBRE de convertisseurs.
Michigan.	Wyandotte.	Société des aciéries pneumatiques.	2 de 3 tonnes.
New-York.	Troy.	MM. John A. Griswold et Cᵉ.....	3 de 2 et 5 t.
Ohio.	Cleveland.	Compagnie du laminoir de Cleveland.....	2 de 5 tonnes.
Pensylvanie.	Harrisburg.	Compagnie des aciéries de Pensylvanie.....	2 de 5 —
—	Lewistown.	Forges et aciéries de la Liberté.....	?
—	Chester.	Compagnie nationale des blindages.	2 de 5 —
—	Johnstown.	Forges de Cambria.....	? —

Le procédé Bessemer semble avoir été introduit en Amérique par un M. Hart qui l'avait appris à Saint-Seurin, en France, chez M. W. Jackson, et qui l'installa à *Wyandotte*, près Détroit (Michigan); mais on désignait le procédé dans cette usine sous le nom de *procédé pneumatique de Kelly*. A peu près vers la même époque (1865), MM. Winslow, Griswold et Holley, cessionnaires et représentants de M. Bessemer, installaient un appareil d'essai à l'*usine de Troy*. La plupart des fontes des États-Unis peuvent être employées au bessemer ; la pureté et la richesse des minerais oxydulés et hématites sont particulièrement propres à cette fabrication ; dans plusieurs usines on fait arriver directement au convertisseur la fonte liquide sortant du haut fourneau. Les États-Unis sont destinés à devenir le pays le plus grand producteur d'acier du monde entier.

INDES ANGLAISES. — La *East India Iron Company* fabrique de l'acier Bessemer dans son usine de Beypour ; mais nous ne possédons aucun détail sur son installation, non plus que sur ses produits.

CHAPITRE QUATRIÈME

PROCÉDÉS DIVERS POUR LA FABRICATION DE L'ACIER.

PREMIÈRE SECTION

Essais divers.

En considérant l'acier comme un fer contenant une proportion de carbone inférieure à celle qui constitue la fonte,

Digitized by Google

on comprend de suite qu'on pourra obtenir ce métal de bien des manières différentes et en employant comme matière première soit le minerai, soit la fonte, soit le fer, soit le minerai et la fonte, soit la fonte et le fer. Aussi les procédés et les inventeurs de procédés abondent quand il s'agit d'acier, et il serait oiseux d'essayer d'indiquer seulement ceux qui se sont présentés pendant les quatre ou cinq dernières années. On voit souvent le même procédé reparaître plusieurs fois avec des étiquettes différentes. Il n'est, en effet, pas difficile de fabriquer de l'acier; il l'est davantage d'obtenir un produit réellement bon; il devient moins aisé encore de produire régulièrement et couramment des aciers de qualité déterminée à l'avance et variant avec les demandes de l'application. Tout inventeur a dans sa poche un ou deux morceaux d'acier de première qualité fabriqué par son procédé, mais il serait la plupart du temps très-embarrassé si on lui demandait de fabriquer une certaine quantité de produits semblables. Malgré certaines prétentions, aucun procédé actuellement pratique n'est en mesure de fabriquer des aciers de qualité supérieure avec des matières premières inférieures ou même communes. Aucun procédé non plus n'est en mesure de produire des aciers réguliers, de qualité constante, avec des matières premières quelconques, non choisies et non étudiées. La bonne qualité et la régularité des aciers ne dépendent pas seulement des proportions relatives de fer et de carbone, mais aussi de la nature et des proportions des substances étrangères qui s'y trouvent associées.

Procédé Chenot. — Tous nos lecteurs connaissent sans doute le *procédé Chenot* pour la fabrication de l'acier par la méthode directe, au moyen des minerais, procédé qui a été décrit en détail dans la *Revue universelle*, t. V et VI, par MM. Ziane et Grateau. Ce procédé a été modifié par M. Chenot fils, qui avait exposé en 1867 des modèles de ses appareils; nous avons dit quelques mots, p. 150, de cette modification, qui ne nous paraît pas destinée à avoir un avenir bien étendu. La fabrication de l'acier par la méthode directe exige des minerais d'une pureté exceptionnelle, et encore

Digitized by Google

n'obtient-on pas aisément et économiquement des produits réguliers.

Procédé Siemens. — M. Siemens a exposé aussi en 1867 le modèle d'un appareil destiné à fabriquer l'acier directement dans un four à réverbère chauffé au gaz par son système. Cet appareil a subi des perfectionnements, et en 1868 il fonctionnait dans l'usine d'essai de l'inventeur à Birmingham, sous la forme que représente notre dessin pl. XXXI. C'est un four à réverbère à sole concave chauffé par le système Siemens et présentant un trou de coulée dans la partie la plus déclive de la sole, au milieu de l'une des faces latérales. La voûte est traversée par deux moufles verticales en fonte ou en argile réfractaire qui sont suspendues à un plancher de chargement ; une partie de la flamme qui remplit le four peut s'élever autour de ces moufles enfermées dans une enveloppe en briques, et s'échappe à la partie supérieure, de façon à les chauffer par l'extérieur à la chaleur rouge. Un tuyau en fer descend dans l'axe de chaque moufle et permet d'injecter à sa base un courant de gaz réducteur venant de la conduite générale, mais préalablement lavé dans une colonne à coke pour le débarrasser de toute trace d'acide sulfureux. Pour se servir de l'appareil, on introduit par chaque moufle environ un demi-hectolitre de charbon de bois, afin de former une base pour le minerai qu'on charge par-dessus. On charge aussi par les portes latérales sur la sole environ 500 kilogrammes de fonte, qui, après fusion, forment un bain au-dessous des moufles. En même temps, le minerai de la partie inférieure des moufles, se trouvant chauffé dans une atmosphère de gaz réducteurs, se réduit partiellement en éponge de fer qui, arrivant au bain métallique, s'y dissout rapidement faisant place au minerai des couches supérieures qui vient le remplacer pour se dissoudre à son tour après réduction. On charge continuellement du minerai nouveau par la partie supérieure. La dissolution des éponges réduites s'opère avec une grande rapidité ; mais cette rapidité se trouve limitée en pratique par le temps nécessaire pour effectuer la réduction du minerai dans les moufles, réduction

Digitized by Google

qui exige plusieurs heures. Il n'est toutefois pas indispensable que le minerai soit complétement réduit avant d'arriver au bain, parce que le carbone contenu dans la fonte sert aussi à compléter l'opération. Il va sans dire que le minerai ou le mélange de minerai doit être dosé de manière à former un laitier fusible, et la richesse doit être assez grande pour que la masse du laitier ne soit pas gênante. On concasse le minerai en morceaux de la grosseur d'un pois à celle d'une noix pour qu'il soit bien perméable au gaz. S'il est en poudre, il faut le mélanger de matières charbonneuses légères, comme tourbe séchée, charbon de bois ou bois. Au bout de deux ou trois heures, le bain métallique étant devenu assez considérable, on cesse de charger du minerai et on laisse descendre celui qui se trouve dans les moufles ; quand ceux-ci sont vides, on les bouche au bas au moyen d'un disque en fonte garni d'argile réfractaire suspendu à un fil de fer et sur lequel on charge le charbon de terre et le minerai pour l'opération suivante. On essaye le métal du bain et on y ajoute de la fonte ou des agents oxydants, suivant qu'il est trop ferreux ou trop fonteux ; puis on coule. On comprend que la qualité de l'acier dépend surtout de celle des minerais employés, et qu'avec des minerais purs on aura de l'acier d'excellente qualité.

Telle est la description que M. Siemens a donnée de son procédé en 1868 devant la Société chimique de Londres ; mais il l'a modifié encore depuis, après avoir reconnu que la réduction du minerai par le gaz s'opérait assez mal, et il a remplacé les moufles verticales par un tambour horizontal en tôle garnie de terre réfractaire, dans lequel circule lentement un mélange de minerai et de charbon réductif qui se trouve chauffé par l'extérieur. On trouvera dans un mémoire de M. l'inspecteur général des mines Gruner, *Annales des mines*, 6e série, t. XVI, le dessin et la description de cet appareil, que nous croyons trop compliqué pour avoir un succès pratique, et nous croyons avec ce savant métallurgiste que ce système pour la fabrication de l'acier, réunissant dans le même appareil la réduction, la carbura-

Digitized by Google

tion et la fusion, offre plus d'inconvénients que d'avantages.

M. Siemens a installé à l'*usine de Landore*, près Swansea (pays de Galles), une aciérie basée sur son système de chauffage, mais nous ne croyons pas qu'il opère avec l'appareil à tambour tournant.

Procédé de Rostaing et Baudouin. — M. le baron de Rostaing a imaginé, il y a une dizaine d'années, un procédé de division des métaux en fusion fondé sur l'emploi de la force centrifuge. En faisant tomber un filet de fonte liquide sur un point de la surface, voisin de la circonférence, d'un disque horizontal réfractaire tournant avec une grande vitesse, et placé dans une chambre fermée en tôle ou en briques, cette fonte est projetée tout autour à l'état de grenailles et de poudre plus ou moins fines. Les particules les plus fines, en traversant rapidement l'air ambiant, brûlent et se convertissent en oxydes de fer plus ou moins avancés ; les grenailles plus grosses ne s'oxydent que superficiellement. En 1867, MM. Baudouin frères exposaient dans des bocaux une série de produits provenant du classement par tamisage ou lavage des résultats d'une opération semblable : fonte divisée tout-venant, fonte divisée fine, peroyde de fer pur provenant du lavage de grenailles, oxyde de fer pur noir en poudre impalpable, oxyde de fer pur jaune-brun provenant de lavage.

En reprenant des quantités convenablement dosées de ces produits, on peut obtenir soit du fer, soit de l'acier. Ainsi MM. Baudouin exposaient une briquette composée de grains de fonte divisée, comprimés à froid, puis une autre comprimée à chaud après réchauffage. En superposant quatre briquettes, en réchauffant et en cinglant, on obtient un bloc carré de fer plus ou moins épuré, dont on a pu faire des barres ou des bouts de rail qui étaient aussi exposés. Pour l'acier, au lieu de cingler et de souder, on fait fondre dans des creusets des mélanges convenables de fonte divisée et d'oxydes en grenailles ; MM. Baudouin exposaient des lingots bruts et étirés d'acier fondu doux et d'acier fondu dur,

Digitized by Google

ainsi que quelques produits (engrenage moulé, marteaux, tas, cloche) d'acier.

Le procédé de Rostaing et Baudouin a, comme on voit, beaucoup d'analogie avec le procédé Uchatius ; la qualité des aciers obtenus dépend surtout de celle de la fonte soumise à la division. Nous ne croyons pas qu'aucune usine le mette en pratique actuellement.

Procédé Galy-Cazalat. En recherchant les moyens de production économique du gaz hydrogène pour l'éclairage, M. Galy-Cazalat a été conduit, ainsi qu'il l'explique dans son premier brevet (13 juin 1855), à faire passer *un courant de vapeur d'eau pure ou carburée* dans un bain de fonte mis en fusion par le coke ; il déclarait obtenir ainsi *de la fonte de qualité supérieure, de l'acier ou un mélange fusible de divers oxydes de fer*. Après toute une série de brevets et de certificats d'addition, l'inventeur est arrivé à définir un procédé et un appareil dans des certificats de 1861 et 1862 ; l'appareil figurait à l'Exposition de 1867. C'est un cubilot à deux étages intérieurs séparés par une voûte ; l'étage supérieur est destiné à recevoir du coke et de la fonte qu'on y met en fusion en injectant de l'air par des tuyères ; cette fonte liquéfiée coule dans le compartiment inférieur par de petits carneaux et là on la soumet à l'action de jets de vapeur surchauffée. Mais cet appareil compliqué n'a jamais pu réellement produire d'acier fondu, malgré des essais qui se sont prolongés pendant longues années, à Ruelle notamment.

L'inventeur paraissait avoir omis de tenir compte de la quantité de chaleur nécessaire pour la dissociation de la vapeur d'eau. Il est arrivé à des résultats analogues à ceux obtenus dès 1845 à l'usine de Dowlais par M. Guest, dans des essais d'affinage de la fonte par la vapeur, et plus tard par M. Nasmyth dans des tentatives de puddlage à la vapeur (1).

Procédé Micolon. — M. Coutant frères, des forges d'Ivry-sur-Seine, exposaient en 1867, parmi les produits de leur

(1) Voir *Bulletin de la Société des ingénieurs civils*, 1870. *Note sur la fabrication de l'acier fondu*, etc., par M. S. Jordan.

Digitized by Google

usine, un certain nombre de pièces d'acier fabriquées par le procédé Micolon. Nous avons eu, il y a quelques années, l'occasion de voir travailler M. Micolon dans sa petite usine de Saint-Ouen. Il fabriquait deux espèces d'acier, des aciers au cubilot et des aciers au creuset ; mais sa matière première principale était toujours la même : le riblon de Paris, c'est-à-dire les morceaux et débris de fer de toute nature qui proviennent de la grande ville et qui s'obtiennent à des prix généralement peu élevés.

L'acier au cubilot se faisait en fondant au coke dans un cubilot ordinaire, des riblons de fer assez peu triés, auxquels on ajoutait seulement un peu de riblon d'acier et une faible proportion de spiegeleisen. On obtenait ainsi un acier notablement carburé qui ne soudait pas, mais qui se moulait aisément sans soufflures, et avec lequel on fabriquait des cloches et des sonnettes qui eurent beaucoup de succès ; en le recuisant convenablement, on arrivait à le forger et à l'étirer, et nous avons vu des haches et des pics fabriqués de cette façon. On a fait aussi des hélices pour canots à vapeur, des engrenages qui étaient remarquables par leur ténacité. Cette fabrication d'acier au cubilot, qui est interrompue maintenant, n'a peut-être pas dit son dernier mot.

Pour l'acier au creuset, le procédé Micolon ne présente rien de particulier, et n'est autre que le procédé par réaction indiqué déjà par Réaumur. On fond dans des creusets des riblons de fer, mélangés de riblons d'acier, de spiegeleisen, en proportions variables, et on obtient des aciers plus ou moins durs, plus ou moins doux, suivant le dosage des charges. Ces aciers peuvent être de qualité supérieure, comme ils peuvent être tout à fait inférieurs, suivant la nature des matières qui ont servi à leur fabrication. On peut du reste influer plus ou moins sur cette qualité par l'addition de matières fondantes ou épurantes diverses. Mais la difficulté avec ce procédé sera toujours d'obtenir avec des riblons, où les provenances sont essentiellement mélangées et qui se trouvent à des degrés d'oxydation différents et variables, des produits ayant de la constance et de la régula-

Digitized by Google

rité dans leur qualité. Le prix de revient mériterait aussi une étude à laquelle nous ne pouvons nous livrer ici.

Une aciérie est en train, si nous sommes bien informés, d'être installée à Maisons-Alfort, par MM. Mazeline fils et Micolon, pour l'exploitation des procédés de ce dernier.

DEUXIÈME SECTION

Procédé Martin.

Généralités historiques. — Le procédé Martin consiste, comme le dit l'inventeur lui-même, dans l'emploi au four à réverbère de la méthode d'affinage de la fonte par réaction du fer, des oxydes de fer, etc., méthode indiquée il y a environ cent cinquante ans par Réaumur.

Ce système de fabrication de l'acier fondu sur la sole d'un four à réverbère chauffé à une haute température, au moyen de gaz, avait été indiqué dès 1845 par le métallurgiste anglais Heath, mais sans que cette indication contenue dans une patente ait donné lieu à des applications. Depuis cette époque, plusieurs tentatives ont été faites pour la fusion de l'acier au four à réverbère, mais sans obtenir de résultats utiles. En 1863, M. l'ingénieur en chef des mines Lechatelier, pénétré de l'importance du nouveau système de chauffage imaginé par M. Siemens, présida à quelques essais qui furent faits chez MM. Boigues, Rambourg et Cᵉ, et ces derniers prirent un brevet, dont la spécification est un véritable traité de métallurgie nouvelle fondée sur l'emploi des fours à réverbère à haute température. On trouve dans ce brevet la description suivante :

« Etant donné un four contenant de la fonte apportée liquide du haut fourneau ou liquéfiée sur la sole même, mais n'occupant qu'une partie de sa capacité, ou du fine métal liquéfié, on incorporera successivement dans ce bain, soit des loupes encore suantes, extraites d'une série de fours à puddler voisins, soit des blooms, soit des barres de fer brut ou même corroyé, soit des riblons, de la ferraille, etc.; la température du four étant toujours poussée de manière à main-

Digitized by Google

tenir la masse constamment liquide. Soit par la conduite du chauffage, soit par le contact de l'oxyde de fer apporté par les matières incorporées, soit par des additions de matières oxydées, on réglera le travail de manière à obtenir finalement le produit voulu. »

C'est la description théorique à peu près complétement exacte du procédé Martin ; mais quelques difficultés pratiques, rencontrées dès l'abord, firent renoncer MM. Boigues, Rambourg et Cᵉ aux essais commencés. MM. Emile et Pierre Martin entreprirent à leur tour la fabrication de l'acier fondu au four à réverbère chauffé au gaz, et après un grand nombre d'essais coûteux, ils arrivèrent vers le milieu de 1864 à la solution du problème.

Description des appareils et du procédé. — Nous décrirons le procédé Martin, tel que nous l'avons vu pratiquer couramment en 1867 dans les usines de MM. Verdié et Cᵉ, à Firminy, en 1869 dans celles de M. Pierre Martin, à Sireuil, et tel qu'il est employé aussi au Creusot et à Terre-noire.

Les appareils employés sont les mêmes dans ces diverses usines, et ils comprennent pour chaque four à acier du système Martin :

1° Un ou deux générateurs ou gazogènes à tirage naturel du système bien connu inventé par MM. Siemens frères.

2° Un four à réverbère ordinaire, chauffé à la houille et destiné au réchauffage préalable des morceaux de fonte et de fer qui doivent être fondus dans le four à acier.

3° Le four pour fusion d'acier, système Martin, qui n'est autre qu'un four à réverbère à sole creuse, chauffé par le gaz provenant des gazogènes ci-dessus, suivant le système bien connu que MM. Siemens appliquent aux fours à réverbère destinés au puddlage ou au réchauffage, et muni comme ceux-ci de quatre chambres à briques ou régénérateurs de chaleur qui servent tantôt à refroidir les flammes qui sortent du four, tantôt à chauffer le gaz et l'air préalablement à leur entrée dans le four et à leur combustion. La flamme dans le four peut être rendue à volonté oxydante, réductrice ou

Digitized by Google

neutre par la manœuvre des clapets placés par MM. Siemens sur les conduites d'arrivée de l'air et du gaz.

Les seules particularités que présente ce four sont qu'il est muni de sa cheminée spéciale, et que la sole présente un orifice de coulée auquel on peut adapter un long bec à l'aide duquel on remplit les lingotières d'acier sans que les scories qui surnagent puissent y arriver.

Nous donnons pl. XXIX, fig. 3, 4, 5, le dessin d'un four Martin ; on remarquera que ce four est muni de deux cassins ou compartiments situés aux deux extrémités du four et destinés au chauffage préalable des morceaux de fer ; mais dans la pratique on a trouvé préférable de supprimer ces compartiments qui nuisaient au bon chauffage du four. Pour fabriquer l'acier, on introduit d'abord dans le four de fusion, qui est à une haute température par suite des opérations précédentes, une quantité de 900 à 1 000 kilogrammes de fonte en morceaux portés préalablement au rouge et en deux ou trois fois. Cette fonte entre en fusion, et quand le bain est parfaitement liquide et qu'on n'y voit plus aucun morceau solide, on fait une première addition de 100 kilogrammes de fer porté au rouge-blanc. Celui-ci est soit du vieux fer, soit du fer fabriqué spécialement au four à puddler. Il se dissout dans le bain de fonte assez rapidement si la température est assez élevée et sans qu'on effectue aucun brassage. Quand il est parfaitement fondu, on fait une seconde addition de 100 kilogrammes et on continue de la sorte jusqu'à ce qu'on ait ajouté 1 600 à 1 700 kilogrammes de fer. Pendant tout ce temps on gradue les quantités relatives d'air et de gaz, de façon à ce que l'atmosphère dans le four soit aussi neutre que possible.

La quantité de carbone qui se trouvait dans les 1 000 kilogrammes de fonte primitivement fondue, se trouve alors répartie dans les 2 600 kilogrammes de métal, et celui-ci est devenu de l'acier. Une partie du carbone a disparu pendant la durée de l'opération qui est assez longue (six à dix heures suivant la température que l'on peut maintenir) sous l'influence de la faible quantité d'air libre qui pénètre dans le

Digitized by Google

four, et aussi des particules d'oxyde de fer qui accompagnent toujours les morceaux de fonte ou de fer qu'on introduit dans le four ; la faible quantité de silicium que renferme la fonte employée se transforme en scorie sous les mêmes influences longtemps prolongées. On prend au moment de chaque addition un échantillon de métal à l'aide d'une cuiller, et on essaye sa dureté et sa malléabilité. D'après ces essais, on ajoute à la fin de l'opération une petite quantité de fonte miroitante très-carburée, à l'aide de laquelle on arrive à la teneur en carbone et par suite à la dureté désirée pour l'acier.

On fabrique par ce procédé des produits de quatre espèces différentes : 1° des aciers fonteux que M. Martin appelle *métal mixte* ; 2° des *aciers durs* pour la fabrication des rails et des outils ; 3° des aciers doux que MM. Martin appellent *métal homogène*, pour la fabrication des canons de fusil, des pièces détachées pour chassepot, des bandages ; enfin, 4° un métal presque complétement décarburé que MM. Martin appellent *fer fondu*, dont l'obtention est difficile, et auquel on n'a pas encore trouvé d'application.

L'épuration d'une fonte de qualité inférieure est très-difficile, sinon impossible, dans ce procédé, de sorte qu'il n'a été employé jusqu'à présent qu'avec les fontes de bonne qualité. MM. Martin ont essayé et fait breveter l'emploi dans leur four de fusion de mélanges de minerais de fer et de fer, au lieu de fer seul, pour produire l'affinage par réaction, puis l'emploi de certains réactifs destinés à épurer la fonte, comme l'oxyde de manganèse et le sel marin ; mais ces modifications ne sont pas entrées dans la pratique ordinaire du procédé.

Aciéries système Martin. — Voici quelles étaient, à la fin de 1869, les usines où le procédé Martin était employé pour la fabrication de l'acier.

Pays.	Noms des usines.	Nombre de fours.
France.	Sireuil, près Angoulême	3
—	Firminy, près Saint-Etienne	6
—	Terrenoire, id.	8
—	Saint-Etienne (MM. Revollier, Bétrix et Cᵉ)	2
—	Creusot (MM. Schneider et Cᵉ)	2

Digitized by Google

PAYS.	NOMS DES USINES.	NOMBRE DE FOURS.
France.	Allevard (MM. Charrière et Cᵉ).....	1
—	Saut du Tarn (M. P. Talabot).....	1
—	Montluçon (forges de Chatillon et Commentry).....	?
Prusse.	Moabit, près Berlin (M. Borsig).....	2
—	Haspe en Westphalie (MM. Falkenroth, Kocher et Cᵉ).	?
—	Dusseldorf id. (MM. Pœnsgen, Giesbers et Cᵉ).	?
—	Hamm id. (MM. Kœnig et Reinert).....	?
—	Bochum en Silésie (comte Kuqowski).....	?
Autriche.	Leoben (M. Rudolf Mayr).....	?
—	Floritzdorf, près Vienne (MM. Barber et Klusemann)..	?
—	Johann Adolfshuette.....	?
Angleterre.	Newport (M. Samuelson).....	?
Etats-Unis.	Plusieurs usines.....	?

L'*usine de Sirquil* a fabriqué, dès 1864, de l'acier fondu par le procédé Martin, et nous avons vu ses livres de fabrication régulièrement tenus dès 1865. Ses trois fours marchent à tour de rôle ; ils sont construits partie en briques réfractaires du pays, partie en briques anglaises de Dinas (pays de Galles); la sole se fait en sable rougeâtre des environs d'Angoulême mélangé de cailloux pilés et broyés. Les charges se composent de 2 000 à 3 000 kilogrammes fonte et fer. On a fait jusqu'à 80 fusions sans refaire complétement la sole, qu'on répare un peu à chaque fusion. Les fontes employées sont surtout des fontes rubanées et spéculaires de Saint-Louis, près Marseille, et aussi des fontes grises et miroitantes des Pyrénées, et des spiegeleisen de Prusse.

En 1867, MM. Martin exposaient :

1° Le métal mixte dont les lingots cassent avec un grain assez grand et qui se moule aisément pour croisements de voie par exemple ;

2° Des aciers fondus pour outils, en barres ;

3° Du métal homogène ou acier à canons, sous forme de barres, de canons de fusil chassepot à tous les degrés de fabrication, des bandages de roues de wagons,

4° Du fer fondu cassant avec un grain tout à fait semblable à celui des bons fers au bois de Comté ; on en avait fabriqué par moulage une flasque d'affût de canon qui avait été ensuite pliée à froid d'un coup de pilon.

Ils exposaient aussi des spécimens de la scorie blanc-ver-

Digitized by Google

dâtre compacte, qui coule à la fin de l'opération pour acier dur.

Voici quelle en était la composition :

Silice.	46,00	Oxygène	24,24
Alumine	2,25		
Chaux	1,25		
Magnésie.	traces.		
Oxyde de fer	33,80		
Oxyde de manganèse . . .	16,70	id.	12,00

Cette scorie est donc à peu près un bisilicate S^2B.

L'usine de Sireuil travaille surtout pour l'artillerie et pour la marine impériale, en fabricant des canons de fusil, des aciers d'armes et des aciers à outils.

M. Verdié, des *usines de Firminy*, a été le premier métallurgiste qui ait entrepris la fabrication de l'acier Martin, et le succès qu'il y a obtenu n'a pas été de peu d'importance dans l'extension que le procédé, très-remarqué à l'Exposition de 1867, a pris aussitôt après. Il traite, dans des fours de grande dimension (charges de 3 à 4 tonnes fonte et fer), des fontes grises et truitées, fabriquées à Givors avec des minerais de Mokta el Hadid presque purs, et il en fabrique des aciers pour rails, bandages, outils, etc.

L' *usine de Terrenoire* utilise, au moyen du procédé Martin, les nombreux riblons et rebuts que lui laisse son importante fabrication d'acier Bessemer, et fabrique des rails et des bandages.

Nous savons qu'au *Creusot*, où les fours Martin fonctionnent depuis 1868, on est satisfait des produits que fournit le nouveau procédé.

Il en est de même en Prusse, où les fours Martin se sont répandus rapidement ; on nous a indiqué dix aciéries qui ont essayé ou emploient maintenant ce système, et parmi elles celle de *Bochum*.

En Autriche, M. Mayr a été le premier à faire des essais ; mais, si nous ne nous trompons, l'aciérie qui applique le procédé sur la plus grande échelle est l'*usine de Floritzdorf*,

Digitized by Google

qui ne compte pas moins de 32 gazogènes, 5 fours à fondre, avec 3 fours réchauffeurs de service et 8 fours à réchauffer divers. Floritzdorf, comme les autres aciéries autrichiennes, emploie des fontes de Styrie et de Carinthie.

En Angleterre, M. Samuelson a obtenu des résultats assez médiocres dans son usine de *Newport*, à cause de la mauvaise qualité, pour acier, des fontes du Cleveland.

Aux États-Unis, au contraire, MM. Cooper et Hewitt et d'autres encore, emploient avec avantage le procédé Martin.

Données économiques. — Sans vouloir traiter ici complétement la question du coût de l'acier Martin, nous donnerons seulement un spécimen de prix de revient en supposant qu'il s'agit d'acier doux fin fabriqué avec du fer fin spécialement puddlé, d'après les résultats que nous avons constatés nous-mêmes :

Prix de revient de 1,000 kil. lingots, acier doux.

355 kil. de fonte qualité sup. à 125 francs les 1000 kil.	44 fr.	38
830 kil. de fer puddlé fin à 190 francs les 1000 kil. .	157	70
1 333 kil. de houille à 12 francs les 1000 kil.	16	00
Main-d'œuvre totale	20	00
Entretien du matériel spécial	5	00
	243 fr.	08
A déduire : 50 kil. de riblons d'acier à 125 francs . .	6	25
Coût des 1 000 kil. de lingots bruts	236 fr.	83

Les lingots d'acier Martin se travaillent comme ceux d'acier fondu fabriqué par tout autre système. On les ressue en les réchauffant au rouge clair et en les martelant.

Prix de revient de 1,000 kil. de lingots ressués.

1,040 kil. de lingots bruts à 236 fr. 83.	246 fr.	30
800 kil. de houille à 12 francs	9	60
Main-d'œuvre	13	50
Entretien du matériel spécial.	0	60
Coût de 1,000 kil. de lingots ressués.	270 fr.	00

Après le ressuage vient l'étirage qui se fait partie au marteau et partie au laminoir, lorsqu'il s'agit d'acier doux pour canons de fusil par exemple.

Digitized by Google

Prix de revient de 1,000 kil. acier doux martelé et laminé.

1040 kil. de lingots ressués à 270 francs.	280 fr.	80
700 kil. de houille à 12 francs.	8	40
Main-d'œuvre	18	00
Entretien du matériel spécial	0	80
Coût de 1,000 kil. d'acier doux en barres.	308 fr.	00

Les aciers durs, qui consomment moins de fer et moins de charbon que les aciers doux, coûtent moins cher.

Il va sans dire que les prix de revient ci-dessus ne comprennent ni l'entretien de l'usine, ni les frais généraux, ni les intérêts du fonds de roulement.

Nous sommes obligés d'arrêter ici ce que nous pouvons dire du procédé Martin, l'espace nous faisant défaut. Il est cependant nécessaire d'ajouter que nous croyons à ce procédé un avenir très-considérable, et qu'il n'est selon nous qu'un pas de plus, et non le dernier, dans la sidérurgie au four à réverbère, qui maintient sa place à côté de la sidérurgie au four à cuve, dont le dernier succès, le procédé Bessemer, avait laissé sa rivale en arrière. Les deux procédés du reste se prêtent mutuellement assistance : les fontes qui sont trop froides pour le bessemer servent avantageusement pour le martin ; ce dernier utilise facilement les bocages Bessemer ; mais tous deux exigent des fontes pures pour fournir des qualités d'acier supérieures.

TROISIÈME SECTION

Procédé A. Bérard.

Généralités. — Dans une note présentée à l'Académie des sciences, le 26 juin 1865, M. l'ingénieur Bérard, bien connu par l'invention de lavoirs à houille perfectionnés, expliquait son procédé ainsi qu'il suit :

« J'opère sur la fonte liquide alternativement par voie d'oxydation et de réduction. Les agents employés, tant pour développer la chaleur nécessaire à l'opération, que comme réactifs, sont les gaz. Le fourneau est un four à réverbère, à deux soles mobiles, d'un système particulier qui rend l'en-

Digitized by Google

tretien et les réparations faciles. Un autel sépare ces soles : sur lui repose une couche de coke que les gaz auront à traverser, en sorte que l'oxygène libre sera absorbé au passage; des clapets ou valves sont disposés de telle sorte que le courant des gaz peut passer à volonté de la sole droite vers la sole gauche, et réciproquement. Lorsqu'on agit sur la sole droite par voie d'oxydation au moyen de tuyères à air, on agit en même temps sur la sole gauche par voie de réduction à l'aide de tuyères à hydrogène mêlé d'oxyde de carbone préalablement épuré de soufre. Après douze ou quinze minutes de cette double réaction, les courants sont renversés, en sorte que l'action réductive se substitue à l'action oxydante, *et vice versa*. On fait ainsi se succéder ce travail à double effet pendant un temps dont la durée dépend du degré de pureté de la fonte soumise à l'opération. La dernière période du travail est consacrée à la décarburation, et lorsque, par des prises d'essai que l'on renouvelle aussi fréquemment que l'on veut, on voit que la matière en traitement est arrivée à l'état convenable, on suspend le travail et on procède à la coulée comme pour une simple coulée de fonte de moulage à réverbère. On est complétement maître de l'opération que l'on amène comme on veut au degré convenable, suivant la nature du produit que l'on désire obtenir. »

On trouve le procédé et les appareils décrits dans deux brevets pris par M. A. Bérard en 1862 et 1866. Nous ne nous occuperons point de ces descriptions qui indiquent des appareils dont l'essai a été fait à Decazeville en 1863-1864, à Montataire en 1866-1867, et qui diffèrent notablement de ceux que nous avons vu fonctionner en 1869 à l'usine de Marquise.

Appareils et procédé. — Les appareils employés à Marquise comprennent :

1° Trois générateurs dans lesquels on fabrique les gaz nécessaires, soit pour le chauffage du bain métallique, soit pour l'injection dans ce bain. Les deux générateurs pour gaz de chauffage sont alimentés avec de la houille; ils ont

Digitized by Google

la forme connue des générateurs ou gazogènes soufflés, et le vent, lancé par une puissante machine soufflante, arrive dans chacun par cinq tuyères. Le générateur pour gaz d'injection a une forme analogue et est également soufflé par cinq tuyères. Le générateur pour gaz d'injection a une forme analogue et est également soufflé par cinq tuyères ; mais il est alimenté au coke (afin de donner un gaz plus pur), et on y injecte au-dessus de chaque tuyère un petit jet de vapeur surchauffée, qui se décompose au contact du coke incandescent en formant de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène qui vient hydrogéner les gaz. Ceux-ci, destinés à l'injection, passent dans une série d'appareils épurateurs plus ou moins semblables à ceux d'une usine à gaz et destinés à enlever toute trace de soufre ou d'acide sulfureux, puis ils sont aspirés par une seconde puissante machine soufflante qui les refoule aux tuyères d'injection avec une pression de 40 centimètres de mercure environ.

2° Deux fours à réverbère ordinaires, pour la fusion de la fonte en gueusets ou en lingots destinés aux opérations. Ils fournissent leur coulée dans une poche qu'on vient vider sur la sole du four à acier.

3° Un four à acier, système Bérard. Ce four est un four à réverbère, présentant une seule grande sole creuse en tête de laquelle se trouve la chauffe formée par cinq tuyaux parallèles fournissant chacun un jet combiné d'air chaud et de gaz chauds. L'air provient de la grande soufflerie; le gaz provient des deux gazogènes réservés pour le chauffage; et tous deux se chauffent à 400 degrés environ dans un calorifère double formé de tuyaux en fonte placés dans les conduits de dégagement des flammes du four à acier.

Au delà de la grande sole creuse où on fabrique l'acier, se trouve, dans le conduit d'échappement qui remonte un peu, un petit bassin pour la fusion de la fonte miroitante manganésifère. Le conduit d'échappement continue au delà : on y a ménagé des ouvertures latérales par lesquelles on introduit les riblons d'acier, les tuyères, etc., que l'on veut réchauffer.

Digitized by Google

Plus loin se trouve le calorifère double dont nous venons de parler, et enfin la cheminée.

La grande sole creuse du four est construite d'une façon fort ingénieuse sur une plate-forme roulante que l'on peut abaisser ou élever en la pressant contre le four au moyen d'une presse hydraulique. Elle présente deux trous de coulée sur ses deux faces latérales. Elle reçoit la charge de fonte liquide par une ouverture spéciale. Cette fonte forme un bain métallique dont la haute température est maintenue ou élevée encore par l'action des cinq tuyères à combustion d'air et de gaz chauds dont nous avons parlé.

Sur chacune des faces latérales du four se trouve une tuyère d'injection, long tuyau incliné à 45 degrés, alimenté par des tubes articulés et qu'on peut, au moyen d'un petit treuil, faire pénétrer plus ou moins avant dans le bain métallique. Chacune de ces tuyères peut injecter dans le bain, soit de l'air pur, soit du gaz pur (mélange de CO, H et Az) soit un mélange en proportions variant à volonté de l'un et de l'autre.

Pour fabriquer l'acier, M. Bérard verse dans la sole creuse 2 500 kilogrammes de fonte en fusion, puis il laisse sa température s'élever pendant quelque temps. Au bout de quinze ou vingt minutes, il commence à injecter de l'air pur par les deux tuyères pour effectuer l'affinage de la fonte, c'est-à-dire l'oxydation et la séparation du silicium, du manganèse, du carbone.

Quelque temps après, il mélange environ un tiers de gaz à l'air d'injection, afin que d'une part l'oxyde de carbone de ce gaz produise une récarburation du métal permettant de prolonger l'affinage, et que, d'autre part, l'hydrogène épure ce métal en entraînant du soufre et du phosphore, et diminue le déchet en réduisant l'oxyde de fer formé. Puis il continue pendant une heure environ en injectant tantôt de l'air pur, tantôt de l'air mélangé d'un tiers de gaz. La longueur de cette période de soufflage, le nombre des alternances oxydantes d'affinage, ou réductives de récarburation et d'épuration, et les proportions relatives d'air et de gaz varient

Digitized by Google

naturellement avec la nature de la fonte employée, de même qu'elles font varier la qualité de l'acier obtenue. M. Bérard juge de celle-ci par des échantillons que l'on prend de quart d'heure en quart d'heure dans le four, et il s'arrête, lorsqu'il trouve que l'échantillon est suffisamment doux, pour y ajouter une certaine dose de spiegeleisen. Lorsque l'acier est obtenu, M. Bérard le fait couler dans des lingotières au moyen de dispositions qui n'ont rien de particulier.

Le four à acier employé à Montataire en 1867, et qui a servi à fabriquer les spécimens exposés au champ de Mars était, d'après les renseignements que nous a fournis cet inventeur, disposé d'une façon notablement différente. Il présentait deux soles dans lesquelles se trouvaient deux bains dont l'un était soumis aux influences oxydantes tandis que l'autre était soumis aux influences réductives. M. Bérard paraissait attacher alors une importance beaucoup plus considérable à la nature oxydante ou réductive de la flamme elle-même.

Le four de Marquise, beaucoup plus grand, est aussi beaucoup plus simple de construction. On trouve dans sa construction une série de détails qui témoignent de l'habileté et de l'ingéniosité de son inventeur. Le procédé lui-même, avec ses décarburations et récarburations alternatives, présente un caractère éminemment rationnel au point de vue théorique, et il se distingue assez notablement de tous les autres procédés employés pour la fabrication de l'acier fondu, puisque M. Bérard entend employer des fontes de qualité même inférieure, grâce aux moyens d'épuration qu'il possède.

Nous n'avons pas vu fonctionner les appareils assez longtemps, ni pu opérer les essais nécessaires, pour apprécier les résultats réels et juger le procédé au point de vue pratique.

Nous ignorons si l'aciérie de Marquise fonctionne encore à cette date (1870).

Digitized by Google

QUATRIÈME SECTION

Procédés divers d'amélioration de l'acier.

Sans vouloir entrer dans l'énumération de tous les procédés imaginés pour améliorer la qualité des fontes destinées à l'affinage ou des aciers qui en proviennent, procédés aussi nombreux que ceux de fabrication eux-mêmes, nous en citerons seulement trois, l'un parce qu'il figurait à l'Exposition de 1867, les deux autres parce qu'ils ont fait passablement de bruit pendant les deux années qui ont suivi.

Procédé Le Guen. — Il y a longtemps qu'en Allemagne on a remarqué les propriétés particulières de ténacité et de dureté que possèdent les aciers au tungstène ou au wolfram et qu'on en a fabriqué dans des creusets de fonderie. M. Le Guen, officier d'artillerie de marine, a imaginé de fabriquer des fontes wolframisées ou tungsténées qui contiennent jusqu'à 10 pour 100 de ce métal. Il se sert de wolfram pulvérisé auquel il ajoute 10 pour 100 de chaux et qu'il agglomère au moyen de brai sec sous forme de briquettes. Il charge ces briquettes au cubilot avec la fonte et le coke, en diminuant seulement la proportion de castine, et il obtient des fontes à 10 pour 100 de tungstène. Il fabrique l'acier par le procédé Bessemer en substituant sa fonte tungsténée au spiegeleisen employé à la fin de l'opération. En 1867, M. Le Guen exposait des aciers doux fabriqués à Imphy par le procédé Bessemer, au moyen de 3 200 kilogrammes de fonte grise à laquelle on ajoute 7,80 pour 100 de fonte à 6,42 pour 100 de tungstène. Il exposait aussi des aciers durs fabriqués au creuset avec des fers du Midi, et 13 pour 100 de fonte à 10,37 pour 100 de tungstène. Avec ces aciers il avait fait faire des tôles, des ressorts, un bout de rail, une pelle fabriquée au pilon.

Nous ne pouvons rien dire de bien positif sur les qualités spéciales de l'acier tungsténé ; il nous paraît du reste probable que la majeure partie du tungstène reste dans la scorie, et que l'acier n'en renferme plus que des quantités infiniment petites.

Digitized by Google

Procédé Parry.—M. G. Parry, l'habile ingénieur chimiste des usines d'Ebbw-Vale, a imaginé en 1861 un procédé qui a pour but surtout d'éliminer le phosphore que renferment beaucoup de fontes et qui les rend impropres à la fabrication de l'acier. S'appuyant sur ce fait bien connu des métallurgistes que dans le puddlage d'une fonte phosphoreuse une grande partie du phosphore passe dans la scorie, M. Parry prend le fer puddlé qui se trouve ainsi plus pauvre en phosphore que la fonte primitive, et il le récarbure de nouveau pour en faire une sorte de fonte en le fondant dans un cubilot étroit et élevé avec une forte dose de castine et du coke peu chargé de cendres. La fonte qu'il obtient ainsi est plus pure que la première, et il l'affine de nouveau, soit au four à puddler, si elle est encore phosphoreuse, soit au convertisseur Bessemer, en y ajoutant un peu de fonte chaude. Au lieu de chercher à obtenir de suite un produit, on peut procéder à une seconde récarburation au cubilot qui permet d'enlever encore une partie du phosphore qui reste.

Ce procédé n'est point nouveau : on le trouve décrit dans le *Traité de métallurgie* de M. le docteur Percy ; cependant ce n'est qu'à une époque relativement récente qu'il paraît avoir attiré l'attention des métallurgistes français.

Procédé Heaton. — On a fait grand bruit en Angleterre pendant quelques semaines d'un procédé imaginé par M. Heaton, et à l'aide duquel on pouvait débarrasser les fontes phosphoreuses de ce métalloïde nuisible et les employer à la fabrication de l'acier. Une usine d'essai, celle de Langley Mill, a fonctionné pendant plusieurs mois ; mais d'après ce que nous en avons entendu dire, elle n'a jamais fourni de résultats réellement commerciaux. En France, le procédé a reçu assez de publicité pour exciter un vif intérêt chez les maîtres de forges de la Moselle dont les fontes sont impropres à la fabrication de l'acier à cause du phosphore qu'elles renferment. M. l'inspecteur général des mines Gruner, professeur de métallurgie à l'Ecole des mines, a étudié complétement le procédé Heaton dans un savant mémoire inséré aux *Annales des mines*, 6e série, t. XVI, auquel

Digitized by Google

nous renverrons le lecteur qui voudrait se renseigner complétement.

Dans le procédé Heaton, on place dans le fond d'un convertisseur, qui n'est autre qu'un cubilot à creuset amovible, une certaine quantité d'azotate de soude, que l'on recouvre avec une plaque de fonte percée de trous et destinée à l'empêcher de monter à la surface du bain, lorsqu'on vient verser dans l'appareil une charge de fonte incandescente. Il se produit une réaction tumultueuse, et, lorsque le calme est rétabli, on extrait du cubilot un métal tantôt pâteux, tantôt liquide, qui n'est autre qu'une sorte de *fine metal* ou d'acier. La chaleur décompose, comme on sait, l'acide azotique en oxygène et en gaz nitreux; l'oxygène produit la combustion du silicium et du carbone, et son énergique action oxydante, jointe à la présence d'un alcali, fait passer le phosphore au moins partiellement dans les scories à l'état de phosphate de soude. M. Heaton reprend le métal obtenu ; il le puddle sec s'il veut en faire du fer, ou il le refond dans des creusets en mélange avec des fers doux s'il veut obtenir de l'acier.

L'élimination du phosphore par l'azotate de soude n'est pas complète, même avec une forte proportion de ce sel, surtout lorsque la fonte traitée est siliceuse, et elle est coûteuse. Aussi M. Gruner conseille-t-il avec raison de n'appliquer le procédé Heaton qu'à du *fine metal* déjà débarrassé par le mazéage d'une partie importante de son phosphore et de la majeure partie du silicium.

Le haut prix de l'azotate de soude amené par les tremblements du Pérou a enlevé pour le moment tout intérêt pratique au procédé Heaton. L'usine de Langley Mill est éteinte, et les essais commencés en France dans les forges de la Moselle n'ont pas été continués.

Le problème de la déphosphoration des fontes d'affinage ne paraît pas encore être résolu, et il est un des plus intéressants que les métallurgistes puissent se proposer.

Digitized by Google

QUATRIÈME PARTIE

FABRICATION DES MOULAGES

Introduction. — La fonte et l'acier liquides se coulent dans des moules pour obtenir ainsi un grand nombre de pièces qui servent soit à la construction des machines, soit à celle des édifices, soit aux arts économiques, soit aux arts d'ornement. Les aciers moulés ont des emplois assez restreints ; mais les fontes moulées, au contraire, s'appliquent aux usages les plus divers et les plus nombreux. La majeure partie du métal qui entre dans la construction des machines, les poutres, les arcs, les piles d'un grand nombre de ponts, les colonnes, les balcons, les portes de beaucoup de maisons et d'édifices publics, les fourneaux, les ustensiles culinaires de nos cuisines, les conduites d'eau et de gaz de nos cités, les grilles, les bancs, les fontaines, les statues de nos jardins, de nos promenades appartiennent à cette nature de métal. On n'emploie pas toujours la fonte de fer telle que la produisent les hauts fourneaux ; on a appris à augmenter sa ténacité pour les pièces qui exigent une grande résistance (*moulages à grande résistance*), à augmenter sa dureté considérablement pour une autre catégorie de pièces (*fontes trempées*), à lui donner une certaine ductilité et flexibilité, de façon à remplacer dans certains cas le fer et l'acier (*fontes malléables*), à la recouvrir d'enduits céramiques dans un but de propreté ou d'ornement (*fontes émaillées*), etc. Nous ne pouvons songer à donner ici un exposé complet de tous les procédés actuellement employés pour la fabrication des moulages; nous dépasserions les limites que nous impose cette Revue, et nous devrons nous borner à signaler rapidement les perfectionnements acquis plus ou moins

Digitized by Google

récemment dans cette industrie, ainsi que les produits qui étaient dignes de remarque à l'Exposition de 1867.

CHAPITRE PREMIER.

FABRICATION DES FONTES MOULÉES ORDINAIRES.

PREMIÈRE SECTION

Généralités.

De la deuxième fusion de la fonte.— On emploie toujours, pour la deuxième fusion de la fonte, des creusets, des fours à réverbère ou des cubilots.

Les creusets sont chauffés de la même façon que ceux qui servent à la fusion de l'acier, et on profite encore ici des perfectionnements que nous avons indiqués à propos de ce dernier métal. Les fours à réverbère de fonderie n'ont pas subi de grands changements depuis bien des années : on a essayé d'y appliquer le chauffage au gaz par le système Siemens, mais on a éprouvé des difficultés dues à une mauvaise direction des gaz et à ce que ceux-ci s'éteignaient en arrivant au contact d'une masse de fonte froide ; il faudrait pouvoir porter le four et la charge de fonte préalablement au rouge, avant d'y introduire les gaz. Du reste, les fours à réverbère n'ont plus pour les fonderies le même intérêt qu'ils avaient autrefois ; on sait maintenant construire de grands cubilots bien soufflés, où l'on fond de grandes masses de fonte à la fois économiquement, et le réverbère ne sert plus que dans quelques cas particuliers où l'on a besoin de maintenir le bain métallique quelque temps en fusion, au contact d'une flamme neutre ou peu oxydante (fabrication des bouches à feu, par exemple). Le cubilot, au contraire, a vu son emploi augmenter beaucoup d'importance, et on a cherché de divers côtés et de diverses façons à perfectionner cet appareil primitivement bien imparfait. En effet, les anciens cubilots consommaient, et beaucoup consomment encore peut-

Digitized by Google

être, 25 kilogrammes de coke pour fondre 100 kilogrammes de fonte. Or, 25 kilogrammes de coke produisent dans une bonne combustion 25 × 7500 = 187 500 calories au moins ; 100 kilogrammes de fonte en fusion ne contiennent que 100 × 300 = 30 000 calories au plus en sus de celles contenues à la température ordinaire ; l'effet utile du combustible n'est donc que d'un sixième à peine dans le cubilot. Il n'est donc pas étonnant que les fondeurs aient cherché les moyens de diminuer cette perte énorme de combustible. On y est arrivé dans une certaine mesure en augmentant la hauteur des cubilots, en rétrécissant la section dans la zone de soufflage, en chauffant l'air, en employant du vent plus comprimé, des charges de coke et de fonte plus considérables. On a pu ainsi faire descendre la consommation de coke à 15 et même 10 kilogrammes par 100 kilogrammes de fonte. Un fondeur anglais, *M. Ireland*, a imaginé en 1858 un système de cubilot qui augmente encore l'économie de combustible ; dans ce système, le vent, au lieu d'être lancé par un seul étage de tuyères, est lancé par deux étages distants d'une hauteur de 50 à 55 centimètres, et se trouvant tous deux sur les parois d'un ouvrage rétréci (au-dessous la section s'élargit pour former le creuset ou réservoir de fonte). Il semble résulter de ce soufflage à deux hauteurs que l'oxyde de carbone produit devant les tuyères du bas se trouve brûlé et transformé en acide carbonique par le vent des tuyères du haut ; et, en effet, le cubilot d'Ireland donne peu de flammes au gueulard. Il va sans dire que la position des tuyères et les quantités relatives d'air qui arrivent par en haut et par en bas ont une grande importance pour le fonctionnement de l'appareil. Dans les cubilots de dimensions moyennes (1 mètre de diamètre à la cuve), M. Ireland procède par charges de fonte de 1000 à 1100 kilogrammes séparées par des charges de coke de 75 kilogrammes, et il consomme ainsi de 70 à 75 de coke pour 100 de fonte. Avec des cubilots plus grands, il est descendu à 60 de coke pour 1000 de fonte.

On voit ici que l'effet utile du combustible a bien aug-

Digitized by Google

menté, il est de 66 pour 100 au lieu de 16 pour 100 comme dans les anciens cubilots.

Il existe toute une série de cubilots brevetés récemment, dont nous ne comprenons point les mérites, et que nous ne conseillerons pas d'essayer ; par exemple, les cubilots *Hinton*, *Heaton* (à tirage naturel et à très-haute cheminée), *Summerson* (à air chaud), *Canham* (à tirage naturel). Le *cubilot Krigar et Boetius*, inventé en Allemagne, qui a fait l'objet d'une communication de M. Eichhorn à l'Institution des ingénieurs mécaniciens en 1868, mérite une mention spéciale, bien que nous ne lui trouvions pas d'avantages supérieurs à ceux d'un cubilot Ireland bien construit ; le creuset a la forme d'un rectangle allongé présentant une section horizontale assez grande pour que le bain de fonte ne varie pas considérablement en hauteur ; il reçoit le vent de haut en bas par deux fentes verticales ayant la même largeur que le rectangle, de façon que la combustion du coke se fait surtout à la surface du bain ; l'alimentation de combustible et de fonte a lieu par une cuve quadrangulaire placée verticalement au milieu de la longueur du creuset et ayant pour côté la largeur de ce creuset ; la flamme se relève dans cette cuve, la combustion s'y achève et les matières s'y chauffent ; l'air, avant d'être introduit se chauffe dans une chambre qui enveloppe la partie inférieure de la cuve. D'après le témoignage de M. Siemens, on consomme dans cet appareil, 63 à 75 kilogrammes de coke par 1 000 kilogrammes de fonte. Mais il est certain que la partie inférieure doit s'user plus rapidement que celle d'un cubilot ordinaire, à cause des deux ponts de tympe qui traversent le creuset et sur lesquels s'élève la cuve.

On ne s'est pas préoccupé seulement de l'économie de combustible, on a voulu aussi rendre le travail du fondeur plus facile et moins pénible. En France, on a essayé des cubilots à creuset mobile porté sur des roues ; mais ils ne se sont pas répandus. Aux Etats-Unis, on emploie partout une disposition qui devrait être appliquée en France. Au lieu d'être posés sur une base en maçonnerie, les cubilots à sec-

Digitized by Google

tion elliptique qui sont usités, sont portés au moyen d'une plaque de fondation sur quatre fortes colonnettes en fonte ; la plaque est percée d'un trou correspondant au vide intérieur du cubilot ; ce trou est fermé par deux portes à charnière sur lesquelles on établit la sole en sable avant de commencer la fusion ; après la fusion, le décrassage se fait en laissant s'abattre les deux portes, et les résidus tombent dans une fosse d'extinction située au-dessous, et où on les arrose avec une lance à eau.

Le combustible employé généralement est le coke ; cependant en Pensylvanie (Etats-Unis), on se sert d'anthracite dans des cubilots élevés à section elliptique et à étalages, et où le vent pénètre par une fente qui fait tout le tour de l'ouvrage, après s'être un peu chauffé dans une chambre annulaire ; ces cubilots sont connus sous le nom de *cubilots Mackensie*.

Les ventilateurs et les machines à piston servent au soufflage, et les fondeurs diffèrent d'opinion sur les mérites respectifs de ces deux classes d'appareils. Les machines à piston fournissent un vent plus comprimé et par suite plus avantageux ; mais elles sont plus gênantes et plus coûteuses que les ventilateurs.

En Amérique, on a imaginé des souffleries rotatives qui, sans être plus gênantes ou plus coûteuses que les ventilateurs, donnent du vent plus comprimé et un meilleur effet utile ; la *soufflerie Mackensie* était dans ce cas, mais elle était d'un entretien difficile ; elle paraît avoir été remplacée avantageusement par la *soufflerie Roots* qui figurait à l'Exposition de 1867, et dont nous donnons un croquis pl. XL, fig. 8 et 9. La vue de ce croquis fait comprendre suffisamment l'appareil, sans que nous ayons à entrer dans plus d'explication. La soufflerie Roots fonctionne avec une vitesse de 150 à 400 tours par minute, et fournit du vent avec une pression de 50 à 60 centimètres d'eau. Celui qui était au Champ de Mars, et dont le diamètre était de 70 à 80 centimètres, était donné comme capable de fondre 10 tonnes de fonte par heure, à 270 tours par minute. L'appareil Roots fonctionne

Digitized by Google

avantageusement en Angleterre, à Barrow, à Crewe, à Ebbw-Vale.

Il est encore une modification apportée récemment aux cubilots et dont nous devons parler; c'est la suppression des soufflerles. M. Heaton et d'autres ont essayé de remplacer l'insufflation du vent par les tuyères, par une aspiration, produite aussi par les tuyères au moyen d'une cheminée élevée qui surmonte l'appareil; mais ils n'ont pu obtenir ainsi une température suffisante pour donner de la chaleur à la fonte liquide. Avant eux, MM. Woodward frères, de Manchester, avaient imaginé le *cubilot à jet de vapeur* dans lequel l'air pénètre par deux étages de tuyères, appelé par le tirage énergique que produit un jet de vapeur placé soit à la base de la cheminée qui surmonte l'appareil, soit dans une cheminée latérale par où les gaz brûlés redescendent au niveau du sol pour s'échapper dans un carneau souterrain. Dans les premiers temps, cet appareil eut peu de succès, mais il paraît qu'il méritait l'attention, et il l'a reconquise en Angleterre. Il fonctionne dans plusieurs fonderies importantes, entre autres chez M. R. Stephenson et C°, de Newcastle, et chez MM. Galloway et fils, de Manchester. Il ne consomme, dit-on, pas plus de vapeur qu'un ventilateur d'effet utile correspondant, et la consommation de coke par tonne de fonte n'est que 62 à 65 kilogrammes. Si ces résultats sont exacts, le cubilot Woodward a le mérite de la simplicité. Il va sans dire, du reste, que son alimentation de matières premières doit être faite au moyen d'une trémie étanche à double registre.

Des sables et terres de moulage. — Il est aisé de reconnaître à l'inspection d'une pièce moulée si elle sort d'une fonderie où l'on s'occupe sérieusement et rationnellement de la préparation des matières destinées à former les moules. La propreté et la beauté de la *peau* du moulage dépendent essentiellement de la qualité de ces matières. Pour ce qui concerne le sable, on a trop l'habitude de croire qu'il n'y a rien à faire qu'à chercher une carrière bien appropriée, et tout le monde connaît le célèbre sable de Fontenay-aux-Roses, près

Digitized by Google

Paris, dont des spécimens se trouvaient exposés en 1867 par M. E. Martine fils aîné (1). Mais il est des cas où il faut suppléer à l'absence de sables naturels convenables, et l'Exposition de 1867 montrait un exemple de ce que peut l'art intelligent. Tous les visiteurs ont remarqué les magnifiques moulages d'ornement exposés par la fonderie d'Ilsenburg (Prusse) appartenant au comte de Stolberg Wernigerode ; aucun moulage parisien ou champenois ne les surpassait et même ne les égalait comme finesse du grain et pureté des surfaces. Cependant il n'y a pas à Ilsenburg de sable possédant la finesse et la porosité désirables, et le directeur de la fonderie, M. Schott, a dû s'ingénier pour trouver une matière convenable. Il a réuni des échantillons de grés des environs d'Ilsenburg ; il a fabriqué des sortes de pierres artificielles avec des matériaux réfractaires ; et il a déterminé par immersion dans l'eau quelle était la pierre la plus poreuse, celle qui absorbait le plus d'eau. Avec cette sorte de pierre réduite en poudre fine, il fabrique son sable de moulage qui présente une grande perméabilité à l'air et aux gaz, tout en ayant un grain très-fin. La fabrication des terres a tout aussi d'importance que celle des sables, surtout depuis la grande extension qu'a prise le moulage en terre. Dans beaucoup de cas maintenant, les moulages de mécanique importants s'exécutent sans modèles et en bâtissant le moule au moyen de briques et de terre de mouleur. La confection de ce moule exige souvent de la part de l'ouvrier un véritable travail de modelage analogue à celui qu'exécutent les artistes sculpteurs pour la confection de leurs maquettes ; aussi n'est-il pas étonnant que les outils des mouleurs (dont on voyait une collection exposée en 1867 par MM. Faure père et fils, de Paris) rappellent ceux dont se servent les modeleurs.

---

(1) M. Martine exposait du sable maigre (de couleur jaune-claire), du sable gras pour cuivre et ornements (couleur ocreuse), du sable réfractaire dit *de Montrouge* (couleur rouge-claire) et du sable rouge foncé de Versailles pour fonte de fer.

Digitized by Google

DEUXIÈME SECTION

Fontes de mécanique et de construction.

Procédés de moulage. — Les pièces de fonte moulées qui entrent dans la construction des machines, des ponts, du matériel de chemin de fer, etc., ont des formes très-variées et se fabriquent par les procédés de moulage les plus divers. On a fait depuis une vingtaine d'années de très-grands progrès dans l'art du mouleur. Ils sont caractérisés entre autres par un emploi plus restreint des modèles quand il s'agit de grosses pièces, par un emploi beaucoup plus étendu au contraire de boîtes à noyau et de noyaux préparés et étuvés, et par l'extension du moulage en terre. Les moules de certaines pièces comme des hélices de navires à vapeur, des grands engrenages, des cylindres de grand diamètre pour machines à vapeur, des condenseurs, bâtis, etc., au lieu de s'exécuter comme autrefois à l'aide de modèles en bois coûteux et encombrants, se construisent maintenant,—on pourrait même dire se bâtissent—au moyen de briques en sable, de noyaux étuvés, d'armatures en fonte et fer, de portions de châssis, d'enduits en terre ; les parties du moule qui ont des formes susceptibles d'un tracé géométrique se modèlent à l'aide de trousseaux, de directrices, de génératrices droites ou courbes.

Pour d'autres pièces de dimensions plus restreintes et qui doivent être reproduites un grand nombre de fois, on emploie des modèles en métal ajustés et souvent démontables à volonté en plusieurs pièces qui permettent un démoulage facile. Nous avons vu fabriquer à Middlesbro en Angleterre des coussinets de chemins de fer d'une force compliquée (coussinets faisant corps avec une cloche en forme de calotte sphérique, analogues au système employé en Égypte) par ce procédé ; sans disposition mécanique spéciale et avec l'aide seulement d'une alimentation continue et régulière de châssis circulant sur deux glissières, un seul mouleur moulait en quelques secondes un de ces grands coussinets.

Digitized by Google

Pour beaucoup de moulages à noyaux, on emploie maintenant des noyaux en sable vert, pour des tuyaux courts, des sphères creuses par exemples, et il est extraordinaire de voir avec quelle précision on les place et on les maintient pendant la coulée de la fonte. Ainsi on fait en Amérique et en Angleterre des générateurs de vapeur à haute pression, composés de centaines de sphères coulées sur des noyaux en sable vert et n'ayant que 9 millimètres d'épaisseur pour un diamètre extérieur de 20 centimètres (*générateurs Harrison*).

On a imaginé en Angleterre des machines destinées à faciliter le moulage de pièces de formes diverses; les unes ont pour but unique de sortir le modèle de sable avec plus d'exactitude qu'on ne pourrait le faire à la main (*machines Howard*); d'autres retournent sens dessus dessous le châssis inférieur quand il a reçu l'empreinte de la moitié du modèle (*machines Jobson*); d'autres enfin réunissent ces deux dispositions. Ces appareils de moulage mécanique sont peu connus et peu employés en France, mais davantage en Angleterre et en Allemagne.

Fontes employées. — Les moulages dont nous nous occupons se font toujours en fonte grise; celle-ci ne doit pas être trop dure à travailler, et cependant elle doit présenter une ténacité aussi grande que possible. Les fontes très-grises ou graphiteuses sont très-douces à l'outil, mais elles manquent de ténacité, et, de plus, elles donnent des moulages limailleux à la surface. Il convient donc d'employer des fontes non graphiteuses qui, étant assez douces, sont plus tenaces. Certaines provenances de fontes sont connues pour la grande ténacité qu'elles communiquent aux moulages; nous citons les fontes de Barrow, de Weardale en Angleterre, de Saint-Louis, de Bességes en France. Cette ténacité spéciale paraît tenir uniquement à la faible proportion de silicium provenant de l'emploi de minerais manganésés, et à l'absence de phosphore due aussi à la nature des minerais; le Creusot fabrique aussi de ces fontes à grande résistance. En Autriche, M. Mayr, de Leoben, fabrique dans ses fourneaux de Styrie, avec un mélange de minerais spathiques

Digitized by Google

et de scories de réchauffage des fontes qu'il exposait en 1867, et qui étaient remarquables par leur résistance ; les scories de réchauffage provenant de fer styrien ne sont pas sensiblement phosphoreuses. En Prusse, M. Gruson, de Buckau-Magdebourg, exposait un barreau de fonte ayant 26 millimètres d'équarrissage posé sur deux appuis distants de 1 mètre et supportant sans rupture et même sans flèche permanente une charge de 550 kilogrammes.

M. Le Guen, en France, a pris un brevet pour l'augmentation de la ténacité des fontes par l'addition d'une certaine proportion de tungstène (voir *Comptes rendus de l'Institut*, 1866); mais son procédé ne s'est pas beaucoup répandu en pratique. On emploie au contraire plus généralement soit la fusion au four à réverbère ordinaire ou au four Eck (à Koenigshuette), en maintenant le métal fluide assez longtemps dans le four pour qu'il y subisse un commencement de mazéage, soit l'addition pendant la fusion d'une certaine proportion de fer en riblons non phosphoreux. Les fusions répétées augmentent aussi la ténacité. Mais tous ces moyens diminuent la fluidité de la fonte et la rendent impropre aux moulages délicats.

Fonderies diverses. — L'Exposition de 1867 présentait, non-seulement dans la classe 40, mais encore et surtout dans toutes les classes de machines et de constructions, une collection très-variée de tous les moulages mécaniques et autres. En France, on pouvait remarquer les pièces de machines du *Creusot*, des boîtes à graisse et à huile, des cylindres de locomotives remarquables de précision, fabriqués chez MM. H. Vivaux et Cᵉ, à *Dammarie-sur-Saulx* (Meuse), un balancier de 7 105 kilogrammes, un grand engrenage et des pièces diverses venant de la *fonderie d'Évreux* (MM. Delille et Jean). MM. de Diétrich et Cᵉ exposaient de remarquables produits de leurs *fonderies de Niederbronn* et de *Mertzwiller* : la première fournit des pièces pour la fine mécanique, telles que fontes pour métiers de filature et de tissage, et des pièces pour la grosse mécanique, telles que bâtis et cylindres de machines à vapeur, engrenages, etc.; la seconde

Digitized by Google

fait des boîtes à graisse, des moyeux de roues, etc. La *fonderie de Marquise* (MM. Pinart et Cᵉ) est une des plus importantes de France, et fabrique jusqu'à 150 tonnes de moulages par jour. L'*usine de Varigney* (MM. Ricot-Patret et Cᵉ), dans la Haute-Saône, s'occupe surtout de matériel de voies de chemins de fer. A *Maubeuge*, on fait aussi des moulages; en 1867 cette usine avait exposé entre autres une table à couler les glaces ayant 6 mètres de longueur, 3ᵐ,80 de largeur et 0ᵐ,16 d'épaisseur et pesant 26,600 kilogrammes. La *fonderie de Saint-Benoît d'Ars* (MM. Dupont et Dreyfus), celles de *Fumel*, de *Bazeilles* et d'autres représentaient encore l'industrie française : il serait trop long de les citer toutes.

A l'étranger, il n'y avait pas de pièces spécialement exposées comme spécimens de moulage mécanique.

TROISIÈME SECTION.

Fontes d'ornement.

Procédés et matières. — Le moulage d'ornement exige des sables de qualité supérieure, ainsi que nous l'avons déjà rappelé en parlant de la fonderie d'Ilsenburg. Il faut aussi des fontes appropriées, surtout lorsque l'on veut que la peau du moulage présente cette netteté artistique qui attirait tous les connaisseurs devant l'exposition des produits de cette fonderie. Nous dirons quelques mots des travaux et des recherches de M. Schott, car Ilsenburg peut être considéré comme le meilleur modèle à suivre. Nos fonderies de la Champagne, d'où sortent cependant tant de produits remarquables, n'atteignent pas le fini et la netteté que l'on obtient dans l'usine de M. Schott.

Après avoir obtenu, ainsi que nous l'avons expliqué, un sable tellement fin et plastique qu'on a pu y mouler entre autres une assiette à dessert avec une serviette pliée, un carré de guipure, M. Schott s'est préoccupé de la qualité des fontes à employer. Au premier abord, il semble que la meilleure qualité est celle qui se liquéfie le plus aisément et qui

Digitized by Google

se solidifie par suite à une température relativement assez basse pour ne pas attaquer la matière qui compose le moule. C'est pourquoi M. Schott fit de nombreuses expériences sur les températures de fusion, au moyen d'un calorimètre à mélange fort simple; sans avoir une grande valeur absolue, ces expériences sont très-instructives. Ainsi, M. Schott a trouvé entre les différents numéros de fonte produits dans ses propres hauts fourneaux au bois des différences de températures de fusion qui vont jusqu'à 470 degrés; il a remarqué aussi que les fontes au bois fondaient en général à une température notablement plus élevée que les fontes au coke, la différence moyenne étant environ 400 degrés, fait dont les fondeurs avaient déjà un indice par le plus grand retrait que prend la fonte en bois en se solidifiant. Mais on remarqua bientôt que la fonte la plus fusible donnait des moulages souvent creux, parce que les surfaces se solidifient trop rapidement, et des arêtes frustes, au lieu d'être vives, parce que dans les parties resserrées la fonte, encore liquide au milieu, suinte à travers les pores des surfaces déjà solides. M. Schott fut conduit à étudier des fontes se solidifiant à une température moyennement élevée; il fit des essais en examinant au microscope les surfaces et les cassures, et il arriva à choisir un mélange de fontes au bois de ses fourneaux qui donne les magnifiques résultats que nous avons constatés. Nous ne possédons malheureusement pas d'analyse de cette fonte, et nous croyons du reste que M. Schott a été guidé plutôt par le microscope que par l'analyse chimique; nous avons donné dans notre première partie, chap. IV, la composition du laitier de fonte grise d'Ilsenburg. D'après d'anciennes analyses faites par M. Dumas, les fontes d'ornement connues sous le nom de *bijouterie de Berlin* contiennent une proportion assez sensible de phosphore et d'arsenic, et celles d'Ilsenburg sont probablement dans le même cas.

Autrefois les fontes d'ornement, presque toujours minces, comme des balcons, des grilles, des panneaux, se moulaient au moyen d'un modèle en métal avec lequel l'ouvrier formait, dans deux châssis, les deux moitiés du moule, en fai-

Digitized by Google

sant d'abord la moitié inférieure sens dessus dessous, puis en la renversant pour former la surface de séparation et mouler au-dessus, dans le second châssis, la moitié supérieure. Mais depuis l'invention, par M. Jobson, du *procédé des faux châssis*, on a pu faire de grandes économies de temps et fabriquer à bien meilleur compte. Dans ce procédé, on a un châssis de dessous qui, au lieu d'être rempli de sable, est rempli de plâtre, et dans lequel se trouve noyé jusqu'à la surface de séparation le modèle que l'on veut reproduire. Sur ce faux châssis, on peut faire un aussi grand nombre que l'on veut de châssis supérieurs contenant la moitié supérieure du moule. Un deuxième faux châssis, également rempli de plâtre et obtenu au moyen du modèle, présente en relief sur la surface de séparation la moitié inférieure du modèle, et avec ce second faux châssis on peut obtenir autant de châssis contenant la moitié inférieure du moule que l'on veut. L'application de ce procédé exige seulement des châssis munis de moyens de repérage précis.

Dans un autre procédé, celui du *moulage avec plaques* de MM. Hetherington, destiné aux pièces légères et planes, on emploie, au lieu de modèle, une plaque ajustée parfaitement plane, de chaque côté de laquelle est vissée une des moitiés du modèle coupé suivant le plan de séparation. Avec cette plaque, on obtient rapidement les deux moitiés du moule sans courir le risque de rompre le modèle, comme il arrive trop souvent avec les légers ornements.

Nous indiquerons maintenant quels étaient les moulages d'ornement les plus remarquables à l'Exposition de 1867.

FRANCE. — Les *fonderies du Val d'Osne* (maison Barbezat et Ce) et *celles de Sommevoire* (M. A. Durenne), toutes deux dans la Haute-Marne, exposaient des fontaines monumentales, ainsi qu'une série des remarquables ornements qui composent leurs albums bien connus, et qui sont fabriqués tant en première qu'en deuxième fusion.

La *fonderie de Tusey* (M. Ed. Zégut) près Vaucouleurs (Meuse), avait aussi une exposition intéressante dans laquelle on remarquait des bustes obtenus avec une épaisseur

Digitized by Google

excessivement réduite. La *fonderie de Pocé* (M. Ducel) près Amboise, celle d'*Osne-le-Val* (M. Saleur et C°, modèles de la maison Denonvilliers), fournissent aussi des ornements pour le bâtiment. Les usines de *Mazières* (M. de Vogué) près Bourges, de *Varigney* (MM. Ricot-Patret et C°) dans la Haute-Saône, de *Givors* (M. de La Rochette et C°) sur le Rhône, fabriquent surtout les gros moulages ornés pour la construction.

D'autres fonderies, *celles de Niederbronn et de Mertzwiller*, appartenant à M. de Dietrich et C°, fabriquent avec des fontes en bois des moulages qui rappellent les ornements de Berlin. On remarquait comme curiosité dans leur exposition, des clichés de fonte obtenus par le moulage, soit d'une pièce gravée, soit d'une pièce estampée. Ces clichés servent à la lithographie et permettent de reproduire sur la pierre toutes sortes de dessins créés primitivement en reliefs. Elles avaient aussi des dentelles de fonte moulées sur des broderies en coton ou sur des ouvrages faits au crochet.

Autres pays. — La *fonderie d'Ilsenburg*, dans le Hartz, est certainement de toutes celle qui produit les produits les plus remarquables pour la pureté des contours et des surfaces. Sans parler des tours de force, comme par exemple le moulage d'une assiette à dessert avec une serviette pliée posée dessus et le moulage d'un mouchoir de dentelles, elle exposait en 1867 une magnifique collection de pièces dont chacune était un objet d'art. Nous citerons, par exemple, des boucliers et des casques d'après Benvenuto Cellini, des coupes et vases d'après des modèles romains, des bas-reliefs d'après des modèles de Cellini, de Cornélius, etc., entre autres d'après l'original de Henri le Lion, qui se trouve dans le trésor de la cathédrale d'Halberstadt (la clef d'Étienne), un assortiment d'assiettes coulées d'après des originaux antiques, en étain, venant de Nuremberg, le casque de Charles-Quint, un éventail, un collier, des bracelets, des ornements pour relieurs, etc. Ilsenburg produit 1 200 à 300 tonnes de moulages par an (1).

(1) Il est intéressant de rappeler ici l'origine de la bijouterie de Ber-

Digitized by Google

L'*usine de Lauchhammer* (Saxe) appartenant au comte d'Einsiedel et la *fonderie royale de Berlin* exposaient encore des fontes ornées : nous avons surtout remarqué une Amazone d'une très-grande pureté fondue dans cette dernière usine. En Bavière, l'*usine d'Eisenberg*, à MM. Gienanth frères, produit aussi des ornements d'une belle fabrication.

Dans la section anglaise, les moulages d'ornement tenaient peu de place. On pouvait cependant remarquer des pièces destinées au monument du prince Albert et modelées par M. Skidmore, de Coventry, et la belle exposition de MM. Hart et fils, de Londres. Les fonderies de Colebrookdale, qui étalaient en 1862 à Londres de magnifiques ouvrages, s'étaient abstenues en 1867.

En Russie, je dois citer les jolis moulages d'ornement exposés par l'*usine de Kasli-Kyschtyme* (gouvernement de Perm) appartenant aux héritières de Rastorgouieff, entre autres un jeu d'échecs, une charrue avec son attelage, divers groupes, rentrant dans la catégorie des fontes d'art comme celles d'Ilsenburg. La même usine exposait une grande chaudière plate destinée à l'Asie centrale, fondue avec une très-faible épaisseur et remarquable par son élasticité : dans l'usine, pour émerveiller les visiteurs, on a l'usage de faire tomber d'un étage une de ces chaudières ou marmites tartares, qui rebondit comme une balle élastique. L'*usine de Munkacz* (Hongrie), appartenant au comte Schœnborn, fabrique des petits moulages d'ornements, des bracelets, des rosaires, véritable bijouterie de fonte, digne aussi d'être citée.

Les autres pays, comme l'Italie, l'Espagne, les États-Unis, sauf peut-être MM. Tucker et Cᵉ, de New-York, et MM. Ré-

---

lin. Lorsque Napoléon Iᵉʳ eut envahi la Prusse et lorsque la guerre nationale souleva tout le pays, les dames prussiennes envoyèrent au trésor royal tous leurs bijoux d'or pour fournir aux dépenses de la campagne. On leur donna en échange des bijoux en fonte portant pour devise : *gold fur eisen* (de l'or pour du fer) qui sont encore conservés avec soin par leurs descendants.

Digitized by Google

quilé et Pecqueur, de Liége, n'exposaient aucun ornement méritant d'attirer l'attention.

QUATRIÈME SECTION

Sablerie et poterie en fonte.

Procédés. — Le moulage en sable vert d'un grand nombre d'objets divers devant être reproduits chacun un grand nombre de fois, comme celui des marmites, des foyers, des projectiles, etc., constitue le travail des ateliers de sablerie ou poterie ; ce moulage se fait soit en fonte de seconde fusion, soit en fonte de première fusion. Dans ce dernier cas, la fonte qui sort du haut fourneau ne doit pas être trop grise, ou limailleuse, c'est-à-dire trop chargée en graphite; quand l'allure a conduit à une fonte semblable, les mouleurs ont le moyen de l'approprier à leur travail en jetant dans chaque poche, un peu avant la coulée dans le moule, une balle de plomb qui a la propriété d'expulser, en le faisant monter à la surface, le graphite surabondant. La fonte blanche ou truitée ne peut servir à la fabrication de la poterie ; elle donne des pièces trop fragiles, trop dures et d'un emploi impossible ; on les reconnaît au son.

De même que les formes des pièces qu'on fabrique en sablerie sont très-variables, de même les procédés de moulage sont très-divers. Tantôt on moule à la main, tantôt mécaniquement, tantôt avec des modèles métalliques, tantôt avec des modèles en bois, tantôt sur chantier, tantôt en châssis. Pour certains objets, comme les tuyaux, on emploie des noyaux étuvés ; pour les gros tuyaux de conduite on étuve le moule lui-même. Je ne puis songer à décrire ici les divers procédés.

La fabrication des tuyaux de conduite a fait depuis quelques années de grands progrès, dans les fonderies anglaises et françaises. M. de Clervaux, ancien directeur de la fonderie de Torteron (Cher), a apporté dans cette fabrication des modifications ingenieuses et importantes qui ont permis aux fonderies françaises de tenir en échec les usines anglaises

Digitized by Google

et écossaises qui, comme celles de Newcastle, Middlesborough, Staveley et Glascow, étaient, il y a quelques années, maîtresses du marché des tuyaux de conduite. L'usine de Torteron employait ces procédés dès 1857, et d'autres fonderies de tuyaux, comme celles de MM. Ad. Lang et Ce à Frouard, de MM. de La Rochette et Ce à Givors, et celle de Lavoulte (Ardèché) avaient traité pour les brevets d'invention en 1867, d'après les notes exposées par MM. Boigues, Rambourg et Ce.

Le procédé de Clervaux pour la fabrication des tuyaux moulés et coulés debout se distingue surtout des anciens procédés en ce que le châssis reste fixe, ne change point de place pendant toutes les opérations, telles que le moulage, l'enlèvement du modèle, l'étuvage, la pose du noyau, le coulage et le démoulage. Le châssis composé de deux moitiés symétriques est fixé verticalement près des parois d'une fosse circulaire desservie par une grue centrale au moyen de laquelle on place et on enlève le modèle, on amène le noyau et on démoule ; la poche de coulée est amenée par un wagon, de même que le foyer d'étuvage pour le châssis.

On voyait à l'Exposition de 1867 un appareil présenté par MM. de La Rochette et Ce, de la fonderie de Givors, et avec lequel on procède un peu différemment. Les châssis, au lieu d'être fixés aux parois d'une fosse circulaire, sont portés au nombre de douze, par une sorte de bâti tournant qui permet, au moyen d'un mouvement facile de rotation, d'apporter successivement le châssis aux endroits où les diverses opérations doivent être successivement faites.

Au lieu d'un bâti tournant on comprend aussi que le châssis peut être porté par un wagon roulant dans une fosse et permettant au moule, lorsqu'il est fait, de venir se soumettre à l'étuvage, puis au remoulage en attendant qu'on le conduise à l'endroit où il doit être rempli de fonte. Ce dernier mode d'opérer est celui qui est actuellement adopté par les fonderies anglaises, de même que par une des plus importantes fonderies françaises, celle de Marquise (Pas-de-Calais).

Les mouleurs anglais se sont surtout préoccupés de la

Digitized by Google

simplification du moulage et du noyautage par l'emploi de dispositions mécaniques. Les moules, en Angleterre et en Écosse, se font souvent au moyen de machines telles que celles inventées par Stewart ou Sheriff, cette dernière paraissant la plus commode et la plus pratique. Les noyaux pour les gros diamètres se font au moyen de lanternes différentielles ou extensibles, telles que celle de M. Cochrane. L'étuvage se fait aussi par des moyens différents de ceux employés en France : j'ai vu, en 1869, employer chez MM. Cochrane et Grove, à Ormesby, un système d'étuve portative au vent chaud dans laquelle on séchait un assez grand nombre de moules à la fois.

Les projectiles pour les canons rayés appartiennent à deux types principaux : ceux à ailettes destinés aux canons qui se chargent par la bouche, et ceux à enveloppe de plomb pour les canons qui se chargent par la culasse. Les projectiles qui doivent recevoir des ailettes ou tenons en zinc ou en cuivre, viennent bruts de fonte avec des alvéoles circulaires plus larges au fond qu'à l'entrée : on les moule soit par le procédé Fourcaut, soit par le procédé Maillart. Dans le premier de ces procédés, les noyaux des alvéoles se placent à l'avance dans des alvéoles pratiquées dans le modèle, ou plutôt dans une sorte d'enveloppe amovible de ce modèle; dans le second, destiné aux gros obus de la marine, les noyaux sont placés à la main dans les logements ménagés par des portées du modèle. Dans l'un et dans l'autre cas, le projectile est moulé et coulé verticalement. MM. Dietrich et C°, de Niederbronn, ont employé pour les obus d'artillerie de terre un système un peu différent du procédé Fourcaut ordinaire; dans leur système, l'enveloppe du modèle, au lieu de s'enlever par bagues concentriques superposées, se décompose en languettes inclinées suivant l'angle de la rayure; on peut alors mouler un obus à 12 ailettes en trois châssis au lieu de quatre. Les projectiles destinés aux canons-culasse présentent, quand ils sont bruts de fonte, des cannelures transversales qui empêchent de les mouler verticalement; aussi on les moule horizon-

Digitized by Google

talement en deux châssis pour les couler ensuite verticalement.

En Angleterre, M. Whitworth a inventé et exposait une machine ingénieuse pour le moulage des projectiles hexagonaux de son système.

FRANCE. — La France est sans contredit le pays où la sablerie et la poterie en fonte sont le plus prospères et le plus perfectionnées, et parmi les diverses contrées françaises la Franche-Comté et la Champagne tiennent la tête de cette industrie. La fonderie de Mertzwiller, à MM. de Dietrich et Ce, exposait de véritables tours de force en fonte au bois de première fusion, par exemple : une plaque de 3 mètres sur 0^m^,60, épaisse de 3 millimètres seulement, et se laissant plier comme de la tôle ; trois grands cercles, l'un de 1^m^,80, l'autre de 1^m^,25 de diamètre, coupés dans des jantes de poulie, tournés en dedans et en dehors, épais de 1 1/2 à 2 1/2 millimètres, et se laissant plier presque comme des feuillards. Il serait trop long de citer ici tous les produits remarquables exposés par les fonderies françaises; je citerai seulement quelques usines dans chaque spécialité.

Pour les appareils de chauffage et de cuisine, poêles, cheminées, marmites, coquelles, fers à repasser, chenets, etc., on remarquait au Champ de Mars les expositions de MM. E. Boucher et Ce (de Fumay), Godin-Lemaire (de Guise), Faure et Ce (de Revin), Zégut (de Tusey), composées surtout de moulages en fonte au bois et en fonte mixte des Ardennes, les expositions de MM. de Dietrich et Ce (fonderies de Mertzwiller et Zinswiller en Alsace), du Marquis d'Albon (usines de l'Eure), de MM. G. Ravaut et Ce (usine de Pontchardon, Orne), de MM. Pajot et Ce (usine de Randonnai), et d'autres encore.

Parmi les fonderies de projectiles oblongs, je citerai l'usine de Torteron (Cher), celle de Lavoulte (Ardèche), celle de Zinswiller (Bas-Rhin), celle de Maubeuge (Nord), celle d'Évreux, sans compter celles qui n'avaient pas exposé.

Les articles divers de marchandise en fonte moulée, coussinets, boîtes de roue, tuyaux de descente, gargouilles, etc.,

Digitized by Google

se fabriquent dans un nombre infini d'usines, telles que celles de Fumel (Aveyron), Dammarie-sur-Saulx (Meuse), Marquise (Pas-de-Calais), Sougland (Aisne), Ars-sur-Moselle (Moselle), Ottange (Moselle), Varigney (Haute-Saône), Bazeilles (Ardennes), Brousseval (Haute-Marne), Mazières et Torteron (Cher), etc. La dernière de ces usines exposait une des colonnes du palais de l'Exposition, haute de 8^{m},60 et moulée sans couture par le procédé de Clervaux dont j'ai parlé plus haut.

Je terminerai en disant quelques mots des grandes fonderies de tuyaux qui avaient exposé en 1867. L'*usine de Marquise*, à MM. Pinart et Ce, est peut-être la plus connue ; elle annonçait avoir déjà fabriqué pour la ville de Paris 10 000 tonnes de tuyaux de conduite (aqueduc de la Dhuis), savoir : 17 kilomètres de tuyaux de 1 mètre de diamètre et 1 kilomètre de tuyaux de 0^{m},80. Elle exposait, entre autres produits remarquables, des cylindres ou tambours en fonte pour piles de ponts et pour cuvelages de fosses houillères (mines de Flechinelle et Hardinghem), présentant des diamètres variant de 2^{m},50 à 5^{m},50. L'*usine de Torteron*, à MM. Boigues, Rambourg et Ce, exposait toute une série de tuyaux de conduite coupés de façon à montrer leur épaisseur : le plus remarquable avait 1^{m},10 de diamètre, 25 millimètres d'épaisseur et 4^{m},10 de hauteur ; l'usine de Torteron a fourni des tuyaux aux fontaines de Paris, Lyon, Le Havre, Saint-Étienne, Roanne, Madrid, le Creusot, Clermont-Ferrand, etc. L'*usine de Lavoulte* peut fabriquer annuellement 12 000 tonnes de tuyaux coulés debout pour conduite d'eau et de gaz : elle exposait une série depuis 40 à 600 millimètres de diamètre.

Les *fonderies de Frouard* et de *Pont-à-Mousson* ne figuraient pas au Champ de Mars. Celles de *Brousseval* (Desforges et Festugière frères), de *Sommevoire* (Durenne), et d'*Antoigné* (Victor Doré) fabriquent surtout les petits diamètres. La *fonderie d'Auberives* (Ardennes), appartenant à la Société générale des conduites d'eau, qui possède aussi une usine à Liége, exposait des tuyaux de divers diamètres, et

Digitized by Google

un tronçon de cuvelage pour puits forés, système Kind et Chaudron.

ANGLETERRE ET BELGIQUE. — La Grande-Bretagne possède des fonderies très-remarquables : une seule, celle de la Tees, près Middlesborough, avait exposé quelques coussinets. Les grandes fabriques de tuyaux de conduite, comme celles de MM. Cochrane, Grove et C°, à Ormesby, près Middlesborough, de MM. Abbott, à Gateshead, et de MM. Bell et Goodmann, à Walker, près Newcastle, de Staveley (Derbyshire), de MM. Th. Edington et fils (Phœnix foundry), à Glascow, s'étaient abstenues. Il en était de même des fabricants de poterie pour appareils de chauffage, parmi lesquels M. Hoole, de Sheffield, occupe un des premiers rangs.

Dans la section belge, il fallait remarquer un tuyau de 70 centimètres de diamètre et 6m,10 de long, n'ayant que 9 millimètres d'épaisseur, fondu par M. Lucien Van der Elst, à Braine-le-Comte ; cette pièce était un des moulages les plus remarquables de l'Exposition. MM. Delloye-Masson, de Laeken-les-Bruxelles, Moll et C°, de Gosselies, exposaient des poteries en fonte.

ALLEMAGNE, SUÈDE, RUSSIE, ETC. — En m'en tenant aux usines qui avaient envoyé des produits au Champ de Mars, je citerai :

En Allemagne, l'usine de Friedrich-Wilhelm, à Mulheim-sur-Ruhr (tuyaux); celle de MM. Wever et C°, à Barmen (tuyaux); l'usine de Mariahütte, à Turkismulhe, près Witten, appartenant à M. Gottbill (fourneaux et ustensiles de cuisine); l'usine de Rheinbœller, près Creuznach, à MM. Puricelli frères (poterie et projectiles); celle de Neusalz en Silésie, à M. Krause (poterie); celle d'Eisenberg, près Kaiserslautern (Bavière), à MM. Gienanth frères (poterie et sablerie). L'usine de Neuhoffnungshuette, près Herborn (Nassau), exposait une plaque en fonte en bois de première fusion ayant 2m,00 × 0m,62 avec 3 1/2 millimètres d'épaisseur seulement.

La Norwége exposait les marmites de M. Wingaard (usine de Trolla, près Throndhjem) ; les poêles de Baerum, près

Digitized by Google

Christiania ; les projectiles de Naes. La Suède avait les projectiles de Finspong (M. Ekman), d'Ankarsrum (M. Demari) et de Hellefors.

La Russie, sauf l'usine de Kasli-Kyschtyme dont j'ai déjà parlé, ne figurait à l'Exposition que pour les projectiles des usines de l'Oural (Koussinsk, Nijneissetsk, Satkinsk, Verknetourinsk, Kouschwinsk). Les usines polonaises exposaient quelques moulages grossiers.

Quelques usines autrichiennes, comme celles de Blansko (Moravie), au prince de Salm, de Teschen (Silésie), à l'archiduc Albert, de Sucha (Galicie), au comte Branicki, de Dernœ (Hongrie), au comte Andrassy, d'Aloisthal, au prince de Lichtenstein, exposaient des poteries et des marchandises diverses.

L'Italie avait fourni les poteries et les projectiles de Follonica (Toscane) et de la Tolfa (États romains), les projectiles de M. Glisenti, de Brescia, et quelques autres échantillons peu intéressants. Après, on ne trouvait plus que des moulages grossiers et insignifiants.

CINQUIÈME SECTION

Canons en fonte.

Il y a peu d'années encore, toutes les bouches à feu qui armaient les navires de guerre étaient coulées en fonte de fer, et on ne connaissait rien de plus puissant que les caronnades et les canons à la Paixhans. Ces pièces se coulaient massives, la culasse en bas, avec une forte masselotte surmontant la volée ; on avait peu étudié les conditions de leur résistance, et on s'efforçait seulement de trouver et d'employer des fontes très-tenaces. En France, on se servait presque exclusivement de fontes fabriquées au charbon de bois et à l'air froid, soit dans les Alpes du Dauphiné (fonderie de Saint-Gervais), soit dans le Périgord (fonderie de Ruelle). Dans la Grande-Bretagne on employait divers mélanges où entraient notamment des fontes de Suède. Mais, depuis que l'invention des cuirasses de navires a obligé l'artillerie à

Digitized by Google

créer des bouches à feu plus puissantes, lançant des projectiles doués d'une plus grande force de pénétration, on a fini par constater que le mode de fabrication des canons en fonte était essentiellement peu favorable à leur résistance, et que les fontes mêmes les plus tenaces étaient encore insuffisantes pour les buts à atteindre. De là l'invention des canons frettés ou construits en bagues ou tubes concentriques et superposés. Je ne saurais entrer ici dans l'exposé complet de l'histoire des canons en fonte, et je me bornerai à l'examen de ceux qui étaient exposés en 1867.

En France, une seule usine fabrique encore des canons en fonte, qui sont du reste destinés à être frettés en acier, c'est la *fonderie impériale de la marine, à Ruelle*. Ces bouches à feu, destinées à se charger par la culasse, sont coulées la volée en bas, avec un noyau creux pour ménager l'âme ; on les fabrique en seconde fusion avec des fontes obtenues au fourneau de Ruelle même, ou provenant de quelques usines du même groupe comme celles de Labouheyre (Landes), et de la Cité (Dordogne). Ces fontes, grises, à grain numéro 3 et numéro 4 mêlé d'un peu de truité, proviennent de minerais du Périgord (les Fayes, Taponnat) ou d'Espagne (Somorrostro) fondus au charbon de bois et à l'air froid. Leur résistance à la traction va, dit-on, jusqu'à 23 et 24 kilogrammes par millimètre carré. Il est à supposer du reste que la marine française abandonnera l'emploi de la fonte pour s'en tenir uniquement à l'acier dans la fabrication de ses bouches à feu.

L'Angleterre, malgré la résistance si vantée de ses fontes de Blaenavon, a renoncé à les employer pour fabriquer des canons.

La Suède et la Norwége, avec leurs minerais magnétiques et leurs riches forêts, sont des pays privilégiés pour l'obtention des fontes très-tenaces ; aussi fabriquent-elles des canons de marine et même des canons de campagne en fonte. La *fonderie de Finspong*, appartenant à M. Carl Ekman, est bien connue ; j'ai étudié ses matières premières dans la première partie (chap. III) de ce travail. Les moules se font

Digitized by Google

en terre, et souvent sans châssis, avec des armatures en fer; les gros calibres ont un noyau creux que l'on pent refroidir à l'intérieur par l'action d'un courant d'air saturé d'humidité. On coule ordinairement en première fusion; quand il y a un noyau, la fonte est introduite au fond du moule, de manière à recevoir un mouvement de rotation en s'élevant vers la volée. On fabrique à Finspong depuis des canons de campagne de 2 1/2 pouces de calibre jusqu'à des canons obusiers de marine rayés de 11 pouces (28 centimètres environ); un de ces derniers, fabriqué pour la marine danoise, avait tiré, en 1867, 234 coups déjà, avec des charges de 25 kilogrammes de poudre et des projectiles de 212 kilogrammes sans aucune avarie. Le parc de l'Exposition contenait quelques-unes de ces grosses pièces.

La Russie possède la *fonderie impériale de canons en fonte d'Alexandrovsk,* à Petrozavodsk, où l'on coule d'après le procédé américain Rodman avec des fontes de Finlande et de l'Oural refondues au four à réverbère; mais elle paraît abandonner la fonte pour l'acier dans la fabrication des gros canons de marine.

Les États-Unis sont le pays où la fabrication des bouches à feu en fonte a été le plus étudiée et où elle a fait le plus de progrès; les artilleurs américains ont du reste été favorisés par l'excellente qualité d'un grand nombre de leurs minerais de fer. C'est à l'un d'eux, le lieutenant (maintenant colonel) Rodman, qu'est due l'invention du procédé rationnel de moulage et de coulage des gros canons en fonte avec noyau creux refroidi intérieurement par une circulation d'eau, de telle sorte que la solidification, et par suite le retrait, commencent par les parois de l'âme et non pas par les parois extérieures qu'on entretient au contraire à une température élevée à l'aide d'un foyer. Je renverrai le lecteur désireux d'étudier ce procédé, ainsi que les belles et nombreuses expériences de l'artillerie américaine, au tome III de la *Revue de Technologie militaire*, publiée par M. Noblet père.

Digitized by Google

CHAPITRE DEUXIÈME

FABRICATION DES FONTES ÉMAILLÉES, ÉTAMÉES, ETC.

PREMIÈRE SECTION

Généralités.

Les fontes moulées qui sont destinées à la mécanique ou aux constructions, sont toujours employées à l'état de fontes noires ; on se contente de désabler, d'ébarber et de buriner plus ou moins soigneusement les pièces qui sortent du moule. Mais lorsque les fontes sont destinées à être employées, soit dans l'économie domestique à l'état de vases culinaires ou autres, soit dans la décoration des appartements à l'état de poêles ou de cheminées, soit dans l'ornementation des jardins et des voies publiques, on leur fait subir diverses opérations, comme l'émaillage, l'étamage, le polissage, le bronzage, etc., qui augmentent notablement leur valeur pour ces divers usages.

L'*émaillage des fontes* est une industrie déjà un peu ancienne, en ce qui concerne surtout les vases culinaires : il est d'une application plus récente pour les cheminées, les poêles. Voici, d'après M. R. Hunt, comment on l'effectue à Birmingham. On commence par chauffer au rouge sombre dans un fourneau les fontes à émailler, en les séparant par du sable ; puis on les fait refroidir lentement dans le but de les recuire. On les décape ensuite avec du sable et de l'acide sulfurique étendu chaud. L'émail se prépare avec du flintglass broyé, du borax, de la litharge et de l'oxyde d'étain : on fait fondre soigneusement ce mélange et on le coule dans l'eau froide. La masse devient très-fragile et se pulvérise aisément ; on l'appelle à cet état la *fritte*. On en prend une partie qu'on mélange avec de la poussière d'os calciné et réduite à l'état impalpable ; on en fait avec de l'eau une sorte de crème que l'on applique sur la fonte préalablement chauffée, puis on fait sécher à 80 degrés environ, et on porte au four

Digitized by Google

d'émailleur où la pièce est soumise à une haute température. Après cette première vitrification suivie d'un refroidissement, on applique une seconde couche formée d'os calciné, de kaolin et de feldspath avec un peu de potasse ; ce mélange mis à l'état de *fritte* comme le premier, est broyé avec du flintglass et des cailloux grillés. On l'emploie aussi à l'état de crème, et on donne un second feu. Enfin on doit encore appliquer une troisième couche qui se compose de feldspath, sable, carbonate de potasse, borax, oxyde d'étain, arsenic et craie fine. On enduit la pièce comme précédemment, et on la soumet à un feu beaucoup plus violent, de sorte que la seconde et la troisième couche se fondent ensemble. On obtient ainsi un émail porcellanique qu'on peut colorer au moyen d'oxydes métalliques.

Mais pour des vases culinaires, cet émail présente l'inconvénient de renfermer des éléments métalliques nuisibles à la santé; aussi s'est-on préoccupé, dans diverses usines, de trouver une composition qui permît de fabriquer des *fontes émaillées hygiéniques*. Voici comment j'ai vu opérer dans une des grandes fabriques de ces produits, pour des marmites et des pots. On décape à l'acide sulfurique étendu, puis on lave à l'eau bouillante. Ensuite on frotte tout l'intérieur au moyen d'un pinceau imbibé d'une bouillie ou *masse* composée de cailloux pulvérisés, de cristaux de soude, de borax et de terre de pipe ; on met de la masse à l'intérieur du vase et on tourne pour l'en enduire également partout. On saupoudre ensuite, au moyen d'un tamis très-fin, avec la *glaçure* (sorte de fritte composée de verre cassé, de sel de soude et de borax), et on fait sécher à l'étuve. Après quoi on met la pièce dans la moufle du feu d'émaillerie. Quand on la sort, on passe généralement l'extérieur au goudron. L'épaisseur de la couche d'émail est de 1 à 2 millimètres. Les fabriques emploient du reste des compositions de masse et de glaçures dont elles gardent le secret.

L'*étamage des fontes* peut se faire par la voie sèche et par la voie humide. L'application de l'étain à chaud est difficile ; elle exige un grain particulier de fonte, un tournage et un

Digitized by Google

décapage soigné des parties qui doivent être recouvertes, et une attention spéciale au degré de chaleur de la pièce, lorsqu'on la plonge dans le bain d'étain. L'emploi de la voie humide, c'est-à-dire l'étamage galvanique, est plus aisé; divers inventeurs possèdent des recettes pour la composition du bain d'étain, entre autres MM. Boucher et Roseleur, en France.

Le *polissage* s'opère par des brosses métalliques tournant à grande vitesse. La fonte polie ressemble à l'acier; les devantures de feu, les chenets, les cheminées, les calorifères, les statuettes, reçoivent cette façon avec grands avantages.

Le bronzage, le cuivrage, l'argenture, la dorure et en général l'application des diverses couvertes métalliques s'effectuent par divers procédés chimiques ou galvanoplastiques sur lesquels je ne puis m'étendre ici. Je dirai seulement que l'Exposition de 1867 présentait sous ce rapport deux vitrines fort intéressantes : celle de la *Société des revêtements métalliques*, qui emploie les procédés de M. Frédéric Weil et celle de *M. J. Feuquières*, de Paris.

En combinant l'émaillage, le polissage et les revêtements métalliques, on peut obtenir des effets décoratifs fort remarquables, comme on le comprend aisément.

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

La section française renfermait plusieurs expositions remarquables au point de vue qui nous occupe en ce moment.

Pour les fontes émaillées à usage domestique ou industriel, j'ai surtout remarqué les produits de la *fonderie de Zinswiller* à MM. de Dietrich et Cᵉ, dont l'émail est obtenu sans addition d'oxydes métalliques proprement dits et ne peut, par conséquent, communiquer aux aliments préparés dans les vases émaillés aucune propriété insalubre. La poterie de cuisine émaillée réalise le rêve des ménagères, en leur offrant les qualités essentielles en fait de poterie : solidité, propreté et salubrité; de plus, l'émail résiste au choc

Digitized by Google

du pilon dans les mortiers : on voyait, dans l'exposition de Zinswiller, des plats, des casseroles, des marmites, des pots à lait, des saladiers, des formes pour gâteaux (*Kugelhopf*), etc., sans parler des jouets d'enfant qui ont l'avantage de ne présenter aucune espèce de danger. Pour les usages industriels, la grande adhérence de l'émail, qui résiste aux acides et au feu, rend la fonte émaillée très-utile; j'ai remarqué un alambic pour la distillation des eaux-de-vie, un tonnelet à bière, un récipient à pression pour brasserie, des plaques et cuvettes pour buffet, des tuyaux de conduite émaillés à l'intérieur, spécialement utiles pour conduire des eaux corrosives et pour éviter l'adhérence des dépôts calcaires, une fontaine formant lavabo, etc. *M. Rogeat fils aîné*, de Lyon, exposait aussi des vases et des ustensiles domestiques en fonte émaillée; il a fabriqué le premier et il fabrique, seul avec MM. de Dietrich et Ce, des baignoires en fonte émaillée remarquables par leur économie et qui témoignent d'une grande habileté de fabrication, en même temps que de la dimension inusitée des fourneaux d'émaillage. *M. Barbezat* et *M. Durenne* font aussi de la poterie émaillée.

Mais les deux expositions qui attiraient le plus les regards par suite de la nouveauté des produits exposés, étaient celles de *M. Godin-Lemaire*, de Guise, et de *MM. E. Boucher et Ce*, de Fumay, qui comprenaient surtout des fontes d'ornement, comme des cheminées, des calorifères, des poêles en fonte émaillée de diverses couleurs, présentant des effets décoratifs remarquables. Les procédés employés par ces deux maisons ne sont point les mêmes que ceux usités pour la poterie.

L'usine de Lauchhammer et M. Krause, en Prusse, l'usine de Teschen et celle de M. Marki et Gecmen, en Autriche, exposaient des ustensiles de cuisine émaillés.

L'industrie anglaise était représentée par M. B. Baugh, de Birmingham et MM. Clark et Ce, de Wolverhampton. MM. Th. Moll et Ce, de Gosselies (Belgique), montraient des poteries en fonte émaillée dites *poteries de santé*. MM. Clark et Ce exposaient aussi des fontes étamées.

Digitized by Google

Quant aux revêtements métalliques proprement dits (bronzage, cuivrage, argenture), on en voyait des spécimens chez MM. Gienanth frères (Bavière), MM. Tucker et Cᵉ, de New-York, M. Barbezat (France); mais les produits les plus remarquables étaient ceux exposés par la *Société dite des revêtements métalliques* et par *M. Durenne*, et fabriqués par les procédés Weil au moyen de bains formés d'oxydes ou de sels métalliques tenus en dissolution alcaline, soit à l'aide de certaines proportions de matières organiques (acide tartrique, glycérine, par exemple) soit par excès de l'alcali fixe lui-même (1).

CHAPITRE TROISIÈME

FABRICATION DES FONTES TREMPÉES.

PREMIÈRE SECTION

Généralités et procédés.

Le moulage en coquille est un procédé employé depuis longtemps, mais qui était, jusqu'il y a peu d'années, réservé à des cas fort rares. Il avait été employé, puis abandonné pour les projectiles ronds de l'artillerie; on s'en servait encore pour certains objets de forme très-simple comme les poids d'horloge, mais sans y attacher d'autre intérêt que l'économie de main-d'œuvre. La seule application réellement importante du moulage en coquille était la fabrication des cylindres de laminoirs à tôle dont la table était trempée par le contact avec le moule métallique. Mais, depuis une dizaine d'années, on s'est mis à fabriquer, en Allemagne d'abord, puis aussi en France, à l'exemple des fondeurs américains, des roues de wagons, des cœurs de croisements de voie, etc., en fonte trempée; depuis trois ou quatre ans, une autre application a pris naissance, c'est la fabrication

(1) Voir *Annales de chimie et de physique*, t. IV, 1865.

Digitized by Google

des *projectiles de rupture*, destinés à percer les blindages de navires, en fonte trempée (boulets Gruson ou Palliser).

Lorsqu'on emploie des moulages trempés, on a pour but de profiter à la fois, et de la dureté spéciale à la fonte blanche cristalline, et de la ténacité de la fonte grise qui n'est pas trop graphiteuse. En effet, lorsqu'on examine la cassure d'un projectile Gruson par exemple, on voit au bord extérieur une épaisseur notable de fonte blanche rayonnée, qui passe petit à petit au truité, puis au gris à grain serré, qui occupe le cœur de la pièce, sans que la séparation des couleurs de fonte soit trop tranchée. C'est grâce à la dureté que ces projectiles entament les plaques de blindage, et leur ténacité empêche qu'ils ne se brisent contre elles comme le feraient des boulets en fonte blanche ordinaire. Dans les roues de wagon en fonte trempée, qui sont si employées en Allemagne et aux États-Unis, la surface de roulement est en fonte blanche très-dure, et elle se raccorde, par une transition presque insensible, avec la partie grise ; cette dernière condition est indispensable pour que, par l'effet prolongé du roulement, il ne se produise pas de solution de continuité dans la matière.

On dit communément, dans les livres de chimie, que la fonte grise refroidie brusquement se transforme en fonte blanche, en subissant ce qu'on appelle la *trempe de la fonte*. Ce fait n'est pas aussi général qu'on semble le croire, et il ne se présente que dans certains cas. Il y a certaines fontes, comme les fontes très-grises fabriquées au coke et à l'air chaud, qui ne blanchissent point par le refroidissement brusque. Il faut, pour que la trempe ait lieu, que la fonte grise renferme suffisamment de carbone pour former de la fonte blanche, mais pas trop, et qu'elle ne renferme pas trop de silicium et de phosphore. Une fonte grise à l'air chaud provenant de minerais un peu phosphoreux et d'un dosage siliceux, ne se tremperà jamais convenablement ; d'abord elle contient peu de carbone combiné ou dissous, il faudra donc une haute température pour la fusion ; et le métal liquide, contenant une grande quantité de chaleur, ne se refroidira

Digitized by Google

pas assez vite pour se tremper bien. Puis le silicium présent dans le bain empêchera tout le carbone de rester à l'état dissous et forcera une partie de se séparer à l'état de graphite. Le phosphore de la fonte augmente sa fluidité et retarde son refroidissement, effets aussi hostiles à une bonne trempe. Une fonte qui trempera certainement bien sera une fonte grise à grain serré, fabriquée au charbon de bois avec des minerais purs, et à l'air froid, comme celles dites *car wheel irons* (fontes à roues de wagon) que fabriquent certains hauts fourneaux des États-Unis; cette fonte renferme beaucoup de carbone, peu de silicium et point de phosphore. Quand les moulages qui doivent être trempés sont de grosses dimensions, comme des cylindres de laminoir, la fonte peut sans inconvénient renfermer des traces de phosphore; il reste assez de fonte grise au cœur pour conserver la résistance nécessaire. Mais pour des moulages de petites dimensions, comme des boulets par exemple, il est essentiel que la fonte ne soit pas du tout phosphoreuse, sans quoi les projectiles se trempent mal et se pulvérisent en arrivant contre les cuirasses; la présence du manganèse, en proportion notable, est du reste plus nuisible qu'utile en donnant au métal un degré de carburation trop grand et une tendance à cristalliser en lamelles. Quand on n'a pas directement du haut fourneau une fonte appropriée, on peut la préparer par des mélanges, ainsi que le fait M. Gruson, de Buckau-Magdebourg. D'après ce qui m'a été dit en Prusse, ces mélanges comprennent de la fonte grise au charbon de bois et du spiegeleisen à faible teneur en manganèse; on arrive ainsi, comme on voit, à l'obtention d'une fonte pure, carburée à point et pauvre en silicium. Je suis aussi fondé à croire que dans certains cas, pour diminuer la carburation et assurer encore mieux l'absence du silicium et du phosphore, on ajoute dans les fasiots pour projectiles trempés une certaine proportion de fer.

Il ne suffit pas, pour obtenir un bon moulage trempé, que la fonte soit appropriée, il faut veiller encore aux formes du modèle. Ainsi, pour les roues de wagon, la forme à rais

Digitized by Google

ne réussit pas ; par suite de la plus grande quantité de fonte à l'extrémité des rais, la trempe y est plus tendre, de sorte que la jante s'use et forme autant de méplats qu'il y a de rais. C'est pourquoi on a dû adopter les roues à disque, mais il a fallu alors prévenir les dangers d'un retrait inégal par suite de refroidissement trop brusque, en employant divers tours de main.

Plus vite un moulage trempé se solidifie et mieux cela vaut. Il ne faut donc pas couler la fonte trop chaude, et il faut avoir une coquille qui absorbe la chaleur le plus rapidement possible. On emploie ordinairement des coquilles en fonte bonne conductrice de la chaleur, grise serrée ou truitée, pesant au moins trois fois le poids du moulage ; ces coquilles peuvent être massives, ou bien, comme dans certains cas on l'a proposé, creuses avec une circulation d'air froid et humide, ou de vapeur. Le cuivre ferait de bonnes coquilles s'il était moins cher ; on pourrait l'employer mince, en le soutenant par une carcasse en fer ou en fonte et en le refroidissant par derrière au moyen d'air humide.

Dans les coquilles de fonte, l'intérieur est souvent brut; mais pour obtenir des pièces un peu belles, il faut l'ajuster. Ces coquilles ne durent pas très-longtemps, malgré les précautions qu'on prend, et leur coût forme un élément important du prix de revient des moulages trempés. MM. Thomas et Laurens ont même imaginé un mode de fabrication des cylindres de laminoirs cannelés qu'ils appellent *moulage en coquille perdue* dans lequel la coquille ne sert qu'une fois, parce qu'il faut la briser pour en retirer le cylindre cannelé. On empêche l'adhérence du moulage à la coquille au moyen d'un enduit noir argileux aussi mince que possible ; du reste, on ne doit jamais laisser refroidir la pièce dans la coquille, dès qu'elle est solidifiée et qu'elle a pris un peu de retrait, il faut l'extraire. La coquille doit être sèche, et pour éviter les accidents, les mouleurs les chauffent souvent à l'avance.

La pièce, une fois sortie de la coquille, doit se refroidir lentement et régulièrement ; on l'enferme ordinairement

Digitized by Google

dans une étuve chauffée qui se refroidit avec toutes les pièces qu'on y a introduites.

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

Cylindres de laminoir. — Diverses usines françaises exposaient des cylindres de laminoir tendres, demi-durs, durs et extra-durs. La fonderie de Saint-Jacques-de-Montluçon (*Société des forges de Châtillon et Commentry*) fabrique des cylindres *tendres* pour rails, fers marchands et fers spéciaux, en fonte grise, des cylindres très-peu trempés à surface dure pour la fabrication des tôles, des cylindres très-résistants trempés de 12 à 15 millimètres pour la fabrication du fer-blanc et des cylindres trempés très-profondément dans lesquels doivent être tracées des cannelures pour fers marchands, petits fers spéciaux, etc. L'*usine du Creusot*, la *fonderie de Fourchambault* exposaient aussi des cylindres fabriqués en majeure partie avec des fontes au coke. La *compagnie des forges d'Audincourt*, qui produit seulement des fontes au bois, fabrique des cylindres de toutes dimensions jusqu'à un maximum de 600 millimètres de diamètre et $1^m,700$ de longueur de table : les cassures des cylindres exposés (deux cylindres à tôle : $D = 0^m,50$ et $0^m,58$, $L = 1^m,00$ et $1^m,70$; un cylindre à petits fers marchands : $D = 0^m,28$, $L = 0^m,80$; un cylindre pour acier de crinoline : $D = 0^m,18$, $L = 0^m,14$) indiquaient une trempe bien dégradée, passant insensiblement du blanc au truité, puis au gris : les prix de vente indiqués étaient de 60 à 200 francs les 100 kilogrammes.

Un fondeur parisien, M. Gueunier-Lauriac, de Saint-Mandé, a eu l'idée de fabriquer des cylindres de laminoir en fontes blanche et grise soudées ensemble sans coquille. Pour cela, il coule d'abord dans un moule en sable un cylindre creux en fonte blanche ; puis, quand il est refroidi à une certaine température, il enlève le noyau et porte le cylindre sur un nouveau châssis où on coule l'âme en fonte grise ; la température doit être bien choisie, afin que la sou-

Digitized by Google

dure des deux espèces de fontes soit complète. J'ignore comment peuvent se comporter à l'usage les cylindres fabriqués par ce procédé qui était exposé en 1867. D'autres fondeurs ont essayé pour de petits cylindres un procédé analogue et plus pratique ; ils les coulaient en source avec de la fonte blanche, puis, après un refroidissement superficiel, ils continuaient à couler avec de la fonte grise qui, en déplaçant la fonte blanche, venait former l'âme du cylindre.

En Suède, où les fontes sont naturellement très-appropriées à la fabrication des moulages trempés, on ne trouvait exposés que deux cylindres fabriqués aux *usines de Kloster* (F. Lagergren) à Hedemora, savoir : un cylindre à rails coulé en terre avec les cannelures presque complétement profilées, coté 23 fr. 50 les 100 kilogrammes brut et 30 fr. 55 les 100 kilogrammes tourné ; un cylindre à tôle coulé en coquille, coûtant tourné 35 fr. 25, tourné et poli 48 fr. 30.

L'Autriche avait une belle exposition de cylindres provenant de fontes de Styrie et Carinthie. *M. Fr. Mayr, de Léoben*, coule des cylindres durs avec une fonte spéciale obtenue d'un mélange de minerais de Vordernberg et de scories de fours à réchauffer, et remarquable par la ténacité considérable qu'elle a conservée, même après s'être complétement blanchie par la trempe et suffisamment durcie pour rendre impossible la formation de stries transversales ou longitudinales sur la table. L'*usine de Prevali* fabrique aussi des cylindres tendres, demi-durs et durs, avec les excellentes fontes de Lolling, pour un grand nombre de laminoirs autrichiens. *M. Ganz*, de Bude (Hongrie), exposait un cylindre trempé.

En Allemagne on trouvait les remarquables cylindres trempés, pleins et creux, de l'*usine royale de Kœnigsbronn* (Wurtemberg) : les cylindres tendres étaient cotés 24 à 30 francs les 100 kilogrammes pris à l'usine suivant le poids ; les cylindres durs, demi-durs, ou à parties dures, 34 à 62 francs les 100 kilogrammes ; elle exposait des petits cylindres de tréfilerie et un cylindre pour laminer l'argent

Digitized by Google

avec un axe fondu en acier Bessemer. L'*usine royale de Malapane* (Silésie prussienne) est aussi connue pour sa fabrication de cylindres ; elle exposait un cylindre trempé ($D=0^m,58$, $L=1^m,26$) pour laminoir à zinc, deux petits cylindres ($D=0^m,21$, $L=0^m,25$) à argent pour la monnaie de Berlin, et divers autres spécimens. On peut aussi citer l'*usine de Neu-Oege* près de Limburg-sur-la-Lenne (Westphalie).

La difficulté la plus grande dans la fabrication des cylindres trempés est d'obtenir une forte épaisseur blanche lorsque le cylindre a un volume un peu considérable. L'usine de Malapane exposait un tourillon cassé ayant 38 centimètres de diamètre, trempé uniformément sur une épaisseur égale au tiers du diamètre ; c'est ce que j'ai vu de plus remarquable sous ce rapport.

Croisements de voie. — Les croisements de voie les plus remarquables en fonte trempée étaient ceux exposés par *M. Gruson*, de Buckau-Magdebourg. On pouvait aussi remarquer ceux de la *Compagnie des forges d'Audincourt*, de *MM. de Dietrich et Cᵉ* (fonderie de Niederbronn), de *MM. Bajgues, Rambourg et Cᵉ* (fonderie de Fourchambault) et de *MM. Ricot-Patrel et Cᵉ* (fonderie de Varigney), en France, et de *M. Ganz* (de Bude), en Autriche. D'après un certificat exposé, un croisement fabriqué par ce dernier avait été déjà parcouru par 903 975 essieux en mille deux cent soixante-quinze jours sans présenter d'usure très-sensible.

Roues de wagon et divers. — La fonderie de M. Gruson était celle qui exposait les plus remarquables moulages trempés ; elle tient sans contredit la tête de cette industrie : ses roues de wagon, grandes et petites, ses garnitures de marteaux pilons, de moutons, de cylindres concasseurs en fonte coulée en coquilles (*schalenguss*), ses cloches, son modèle de casemate cuirassée en fonte dure trempée (*hartguss*) attiraient l'attention de tous les visiteurs compétents. En Autriche, *M. Ganz* exposait une roue de wagon avec un certificat des chemins de fer de l'État, attestant qu'elle avait fait un parcours de 20 000 lieues en dix ans, sous un wagon où les roues avaient une charge de 10 tonnes (la fonderie de

Digitized by Google

Bude au 20 juin 1867 avait déjà fourni aux chemins de fer 100 984 roues et 7239 pointes de croisement de voie); la *fonderie de Derno* fabrique aussi des roues en fonte trempée. En France, la *fonderie de Niederbronn* seule exposait des roues pleines à double disque, habilement moulées et convenablement trempées; elle en livre aux chemins de fer suisses; MM. Boigues, Rambourg et Cᵉ et les forges de Châtillon et Commentry exposaient aussi quelques jantes de roue trempées, mais peu comparables aux précédentes.

Projectiles trempés. — Les boulets en fonte Gruson ont acquis une célébrité européenne par leur effet destructeur sur les cuirasses de navires; grâce à leur dureté et à la ténacité du métal qui les compose, ils traversent des plaques épaisses sans se briser. On en voyait au Champ de Mars des spécimens remarquables, entiers et cassés par le milieu pour montrer la fracture : celle-ci est blanche, rayonnée au bord et va en se fondant graduellement au gris vers le voisinage du centre. Pour faire apprécier la ténacité de son métal, M. Gruson exposait une barre carrée de fonte coulée en sable d'étuve, ayant 26 millimètres de côté; posée sur deux appuis espacés de 1 mètre et chargée en son milieu de 550 kilogrammes sans rupture et sans flèche permanente. Il est probable, ainsi que nous l'avons déjà dit, que dans ces moulages extra-durs (*hartguss*), M. Gruson mélange une certaine proportion de fer ou de fonte raffinée au four à réverbère (*feineisen*), de façon à diminuer la proportion totale de carbone et à obtenir une sorte de métal mixte intermédiaire entre la fonte et l'acier : le dosage du carbone sur un fragment de boulet a fourni 2,4 pour 100 seulement à M. le professeur Gruner.

On a cherché en divers pays à imiter les projectiles Gruson : en 1867, la *Société des forges d'Audincourt* (France) exposait quelques boulets cylindro-ogivaux trempés; mais j'ignore comment ils se comportent à l'épreuve du tir. La *Société des forges de Châtillon et Commentry* est, dit-on, arrivée à fabriquer de bons projectiles.

En Suède, la *fonderie de Finspong* et celle d'*Ankarsrum*

Digitized by Google

exposaient en 1867 des projectiles pleins et creux en fonte trempée.

En Angleterre, les boulets qu'on a baptisés du nom de *boulets Palliser*, ressemblent aux projectiles Gruson ; leur cassure est presque toute blanche rayonnée ; ils sont coulés aussi en coquille, et on ménage au moyen de petits noyaux fixés dans les parois de la coquille les alvéoles des ailettes que doivent porter ces boulets.

CHAPITRE QUATRIÈME.

FABRICATION DE LA FONTE MALLÉABLE.

PREMIÈRE SECTION

Généralités et procédés.

Il n'est pas nécessaire d'expliquer ici l'importance qu'a prise l'emploi de la fonte malléable dans une foule de fabrications ; le lecteur la connaît certainement. L'*art d'adoucir le fer fondu*, comme disait Réaumur en 1722, est une invention très-ancienne ; Samuel Lucas, de Sheffield, perfectionna en 1804 les procédés, et depuis, ils se sont répandus un peu dans tous les pays, en Angleterre, en France, en Belgique, en Allemagne, aux États-Unis. On sait qu'en abrégé la fabrication de la fonte malléable consiste à mouler et à couler en fonte blanche les objets que l'on veut obtenir, puis à adoucir ou décarburer cette fonte, en la recuisant au sein d'une poudre de minerai de fer, ce qui la rend malléable et quelquefois même soudable. On peut ainsi obtenir des pièces de formes compliquées, de petites dimensions, en nombre aussi grand qu'on le désire pour un prix hors de comparaison avec celui qu'aurait coûté la pièce en fer forgé, et cependant de qualité suffisante pour les emplois auxquels on les destine : je citerai par exemple des queues de casserole, des viroles coniques pour manches d'outil, des étriers, des éperons, des boucles de sellerie, etc., etc.

La qualité des produits, leur résistance à la rupture, leur malléabilité, dépendent évidemment de la qualité de la fonte

Digitized by Google

employée. Celle qui a le plus de réputation est la fonte dite *Lorn*, fabriquée en Angleterre par MM. Harrison-Ainslie et Cᵉ, d'Ulverstone : ces maîtres de forge n'ont plus de fourneau en feu à Lorn (Écosse), mais en ont plusieurs dans les environs d'Ulverstone et ils viennent d'en construire un neuf, dit-on, dans le voisinage de Southampton. La fonte Lorn provient de la fusion au charbon de bois des hématites rouges du Cumberland (j'ai donné antérieurement sa composition); mais lorsqu'elle est livrée au commerce, à un prix actuellement (1870) supérieur à 375 francs la tonne prise en Angleterre, elle semble avoir subi une seconde ou une troisième fusion. Sa teneur en carbone est faible (2 et demi pour 100 environ); elle est pure de soufre et de phosphore et ne contient point de manganèse. En Suède, en Styrie, aux États-Unis, on a aussi des fontes au charbon de bois appropriées à la fabrication des fontes malléables. Quelques fontes au coke, comme celles de Saint-Louis (près Marseille, France), de West-Cumberland, de Harrington (Angleterre), peuvent aussi être employées pour certaines pièces. L'étude théorique de la question montre que, pour qu'une fonte soit convenable, il faut : 1° qu'elle ne contienne que peu de silicium et point du tout de phosphore, afin que le métal recuit ait de la ténacité et de la malléabilité à froid ; 2° qu'elle ne soit point trop carburée, et qu'elle ne renferme pas de graphite, afin que la décarburation par cémentation se fasse suffisamment ; 3° qu'elle ne soit point manganésée, parce qu'au sein de l'oxyde de fer, le manganèse de la fonte s'oxyde et donne une texture terreuse à l'intérieur de la pièce. La pratique de l'industrie prouve l'exactitude de ces conditions.

La fonte est mise en fusion généralement dans des creusets chauffés, soit au coke, soit au gaz, par le système Siemens; il faut une très-haute température pour obtenir assez de fluidité pour les petits moulages avec ces fontes peu carburées. Dans quelques cas assez rares, et pour de grosses pièces seulement, on fond dans un petit cubilot ou dans une calebasse. On fait les moules en sable d'étuve ou en sable vert un peu séché.

Digitized by Google

Les pièces démoulées doivent être nettoyées et ébarbées avec grand soin, si l'on veut avoir une bonne malléabilisation. Le recuit se fait en mettant les pièces dans des pots cylindriques en fonte ; tous les interstices des pièces et les couches entre les lits des pièces étant bourrés de cément qui est un mélange de minerai de fer (quelquefois de battitures de forge) neuf et d'autre ayant déjà servi, on achève de remplir le pot par une dernière couche faite en sable sec. Les pots sont ensuite placés en plus ou moins grand nombre dans les fours à recuire où on les chauffe graduellement après avoir luté les joints par lesquels l'air pourrait pénétrer jusqu'aux pièces ; lorsque la température est arrivée au rouge, on la maintient un nombre de jours d'autant plus grand que le recuit doit être plus profond ; après quoi, on la laisse tomber peu à peu et on n'ouvre les pots que lorsqu'ils sont à peu près froids. Les fours employés dans la plupart des fabriques françaises sont de construction simple, mais peu commode et peu économique au point de vue du combustible. A Paris, M. Dalifol a installé, comme M. Francis, de Birmingham, un four à recuire chauffé au gaz d'après le système Siemens. Dans les fours anglais les pots sont généralement placés sur des wagons à plate-forme réfractaire qui permettent de les enfourner et de les défourner aisément ; mais on a toujours l'inconvénient d'être obligé de les défourner dans le même ordre ou dans l'ordre inverse que celui de l'enfournement, ce qui est gênant lorsque certaines pièces doivent être chauffées plus longtemps que d'autres ; de plus, le chauffage n'est pas toujours uniforme dans toutes les régions du four. Quelques fonderies anglaises (MM. Hornsby et Cf, de Grantham ; MM. Garrett et fils, de Leiston, par exemple) ont construit des fours circulaires (*système Tenwick*) dans lesquels les pots reposent sur une sorte de sole réfractaire tournante par l'intermédiaire de wagons en forme de secteurs ; dans ces fours on peut amener une série de pots successivement dans toutes les régions du four, et sortir d'abord ceux que l'on veut en laissant le chauffage continuer pour les autres.

Digitized by Google

On pourrait probablement imaginer, en combinant les systèmes Hoffmann et Siemens, une forme de four qui serait encore plus rationnelle et plus commode. La nature du ciment en poudre qui sert au recuit varie, dit-on, dans certains cas. Ainsi on prétend qu'en Autriche on emploie en mélange de la craie ; ce serait alors l'acide carbonique qui agirait sur le carbone de la fonte. Aux États-Unis, où l'oxyde de zinc est abondant aux environs de New-York, on se sert de cette matière.

DEUXIÈME SECTION.

Produits exposés.

FRANCE. — La fonderie la plus considérable et la mieux dirigée de France est sans contredit celle de *MM. Dalifol père et fils*, à Paris. Ils exposaient un grand nombre d'objets de sellerie (mors, étriers, éperons, etc.), de carrosserie (douilles diverses, garde-crottes, etc.), de serrurerie (clefs, verrous, charnières, etc.), d'armurerie (pièces de revolver et de fusil, culasses, etc.), de balancerie (fléaux, etc.), de coutellerie (couteaux, lames, sécateurs, fourchettes, casse-noisettes, etc.), de quincaillerie (queues de casserole, viroles, porte-mousquetons, etc.), de mécanique (clefs, écrous, engrenages, pièces de filature, etc.), sans compter des statuettes polies et des pièces diverses. J'ai remarqué notamment les mors moulés et coulés à plat, puis tordus sur champ, les queues de casserole coulées plates et estampées ensuite à froid, des ciseaux et gouges à bois en fonte malléable trempée, des bandes de fonte laminées à froid à 1 demi-millimètre d'épaisseur, une étoile d'une seule pièce à six branches dont la première en fonte non recuite, la deuxième en fonte recuite, la troisième en fonte recuite et cémentée, la quatrième en fonte recuite, cémentée et trempée, la cinquième en fonte malléable soudable, la sixième en fonte laminée à froid. La fonte malléable soudable s'obtient par un tour de main spécial qui exige une température plus élevée pour la fusion du métal. Il y a quelques autres fabricants de

Digitized by Google

fonte malléable à Paris, notamment MM. Durafaur et Ce, qui avaient aussi exposé, et d'autres en province.

GRANDE-BRETAGNE. — L'industrie de la fonte malléable est très-importante en Angleterre : ses trois centres sont Sheffield, Birmingham et Londres. A Dronfield, près Sheffield, est la fonderie de *MM. E. Lucas et fils* (les descendants de Samuel Lucas), qui est une des importantes du royaume. A l'Exposition on pouvait remarquer les produits de *MM. Moreton et Ce*, de Sheffield et Wolverhampton (quincaillerie) ; de *MM. Lloyd*, de Birmingham (clous à ferrer les chevaux et les mules, clous de chaussure, etc.) ; de *MM. W. Scott et Ce*, de Londres (pièces de machines à coudre); de *MM. Clark et Ce*., de Wolverhampton (quincaillerie).

BELGIQUE. — Les fabriques de fonte malléable sont toutes réunies autour de Liége, notamment à Herstal, qui en est un faubourg. Les sables de moulage belges ne valent pas ceux de Paris, de sorte que la quincaillerie d'Herstal est inférieure à celle de Paris. Une usine avait exposé en 1867, celle de *MM. Bellefroid et Ce*, qui fabriquent toutes sortes de pièces.

ALLEMAGNE ET SUISSE. — Trois exposants allemands s'étaient présentés en 1867 : *MM. Brauckmann et Proebsting*, de Lüdenscheid ; *M. Wiss*, de Klein Schmalkalden (duché de Gotha), et *M. Albert Stotz*, de Stuttgard (Wurtemberg). Ce dernier déclarait que sa fabrique, fondée en 1865, était la première dans le Zollverein qui eût fourni de bonnes fontes malléables; il exposait beaucoup d'objets, comme pignons, patins, clefs diverses, revolvers, crémones, etc., ayant une belle cassure et des arrachements rappelant ceux de l'acier. Une fabrique suisse de Schaffhouse (M. Fischer) avait aussi exposé.

AUTRICHE ET ITALIE. — L'Autriche présentait une exposition fort remarquable, celle de *M. Berth. Fischer*, de Traisen (basse Autriche). Son usine, fondée en 1844, produit environ 200 tonnes de fonte malléable par an ; elle exposait, comme nouveauté, une bigorne de ferblantier coulée creuse pesant 5^k^,750 seulement, d'autres pièces creuses et des objets soudés à des barres de fer pour prouver leur soudabilité. Un autre fabricant, *les fils de Hann*, de Rainfeld, exposait aussi

Digitized by Google

des moulages malléables et soudables provenant de fonte et d'acier moulés et recuits en caisses. Les fontes de Styrie semblent se prêter plus spécialement à la fabrication de ces objets soudables. En Italie, *M. Glisenti*, de Brescia, et *MM. Benini et Ce*, de Florence, représentaient cette industrie; les derniers exposaient une vis de pressoir en fonte malléable.

AMÉRIQUE. — Une maison de Newhaven (Connecticut), *M. Whitner et Ce*, avait une exposition prouvant que l'industrie de la fonte malléable est très-avancée de l'autre côté de l'Atlantique. Le Canada présentait les produits de *M. H.-C. Evans*, de Kingston.

CHAPITRE CINQUIÈME.

FABRICATION DES ACIERS MOULÉS.

PREMIÈRE SECTION

Généralités et procédés.

On sait que c'est en 1851, à la première exposition de Londres, que parut le premier gros lingot d'acier fondu, lingot envoyé par M. Krupp, d'Essen, et qui causa aux métallurgistes une surprise énorme, quoiqu'il ne pesât que 2 500 kilogrammes. C'est en 1852 que les premières cloches en acier fondu et moulé, fabriquées par MM. Mayer et Kühne, de Bochum, firent leur apparition à l'exposition provinciale de Dusseldorf. On se rappelle aussi quelle sensation produisirent à Paris en 1855 les produits de cette fonderie de Bochum. Chacun comprend en effet quel immense progrès réalisait dans l'industrie un procédé qui permettait d'obtenir aisément et simplement par le moulage des objets d'acier qui, par leur forme compliquée, ne peuvent se fabriquer que difficilement et chèrement par le forgeage; l'inventeur, M. Jacob Mayer, reçut la décoration de la Légion d'honneur. Depuis cette époque, le procédé s'est perfectionné et son emploi s'est étendu. En 1862, une aciérie de Sheffield, MM. Naylor Vickers et Ce, cessionnaires de l'invention de M. Mayer, exposaient à Lon-

Digitized by Google

dres de très-remarquables moulages, roues de wagon pleines d'une seule pièce à disque plan et à disque ondulé, des pointes de croisement de voie, des pignons d'engrenage, des cloches parmi lesquelles une de 2m,25 de diamètre à l'ouverture, pesant 4 080 kilogrammes. Cette dernière eût été, comme l'espéraient ses fondeurs, la plus grosse cloche d'acier existante, sans l'envoi de la société de Bochum elle-même. Celle-ci en effet exposait une énorme cloche ayant au moins 3 mètres de diamètre et pesant 10 000 kilogrammes; en outre, parmi d'autres pièces remarquables, deux roues motrices de locomotive, pleines, d'un diamètre de 1m,57 et dans lesquelles se trouvait aussi moulé le trou dans lequel on place le manneton. Dès 1862, une maison française, MM. Jacob Holtzer et Cie, d'Unieux, fabriquait aussi des cloches d'acier par les procédés de M. Mayer. Aujourd'hui encore, ces trois usines, Bochum, Sheffield et Unieux, tiennent la tête de l'industrie des aciers moulés; les autres aciéries qui moulent l'acier sont loin de travailler aussi régulièrement et avec autant de succès.

La fabrication des moulages d'acier présente en effet de très-grandes difficultés. Lorsqu'on a voulu l'entreprendre, on s'est longtemps buté contre des obstacles qui semblaient infranchissables; les pièces coulées s'obtenaient toutes caverneuses et remplies de soufflures à l'intérieur; la surface extérieure était couverte de dartres et de tacons provenant de la vitrification du sable du moule; plus on voulait obtenir de l'acier doux, plus ces difficultés étaient graves. Actuellement, peu de personnes encore connaissent les conditions auxquelles il faut satisfaire pour obtenir de bons résultats, conditions que les fabricants tiennent secrètes; je vais essayer d'en indiquer quelques-unes d'après des observations personnelles.

Le sable pour le moulage d'acier doit être suffisamment réfractaire. On le fabrique surtout par le broyage des vieux creusets d'argile dont on sépare toutes les parties vitrifiées; en ajoutant à cette poudre sèche un peu d'argile réfractaire, en malaxant et laminant ensemble ces matières, on arrive à obtenir une matière assez réfractaire et assez plastique pour

Digitized by Google

former la première couche au contact du modèle dans le châssis. A Sheffield, le *ganister* entre pour une part importante dans la composition du sable. Cette composition, à Bochum comme à Sheffield, est conservée secrète, surtout pour le sable superficiel. La nature de l'enduit est aussi un point important; c'est une bouillie noirâtre, qui est, dit-on, formée souvent d'argile très-réfractaire et d'anthracite pulvérisée; il nous a semblé que l'ardoise ou la plombagine broyée en formait cependant la base dans certaines fonderies.

Il faut, pour éviter les soufflures, se garer aussi bien de l'air qui peut être entraîné avec le métal fluide que de celui qui est contenu dans le moule ou ses parois. Ce moule doit être étuvé à une haute température et conservé encore très-chaud, afin qu'il ne se forme pas trop vite une croûte solide à son contact lors de la coulée, croûte qui gênerait le dégagement des bulles. Pour couler, on place sur l'orifice du moule un bassin de coulée muni au fond d'un ajutage fermé avec une quenouille réfractaire; lorsque tout le métal nécessaire pour remplir le moule est rassemblé dans le bassin, on soulève la quenouille et le métal forme un jet dans l'orifice du moule sans en toucher les parois, sans entraîner d'air, et en permettant à celui qui remplit le vide de s'échapper. En laissant au métal quelques instants pour se reposer dans le bassin, il se débarrasse des bulles qu'il aurait pu entraîner jusque-là. Les parois du moule, parfaitement sèches, ne fournissent point de gaz, et l'air chaud qui remplit les interstices des grains de sable s'échappe sans difficulté par les joints et par les trous des châssis quand il est dilaté par la chaleur du métal. On peut même diminuer la pression atmosphérique autour du moule soit par des moyens mécaniques, soit par un tirage énergique.

Le métal doit être très-fluide et par conséquent à une très-haute température, surtout s'il s'agit d'acier doux, c'est-à-dire peu carburé. Il faut couler d'autant plus lentement que l'acier est plus doux ; si l'on va trop vite, avec de l'acier à canons, par exemple, il se produit comme un rochage; le métal semble bouillir, il remplit le bassin qui déborde. Il est utile

Digitized by Google

que le métal, au moment de la coulée, contienne un peu de silicium; on y arrive en mettant dans chaque creuset, lorsqu'on le charge, une faible proportion de fonte grise siliceuse. L'acier est alors un peu fonteux, un peu moins tenace, mais on évite beaucoup plus sûrement les soufflures. Sans vouloir entrer ici dans une discussion théorique qui me conduirait trop loin, je rappellerai seulement à ce sujet que l'oxyde de carbone ne se dissout pas aisément dans un bain de fonte siliceuse, d'après les expériences du commandant Caron et de M. Sainte-Claire Deville.

L'acier se solidifie à une plus haute température que la fonte; son retrait ou plutôt sa contraction depuis cette température jusqu'à celle ordinaire est par suite considérable. Aussi, pour ne pas obtenir des moulages chambrés ou caverneux, il faut qu'ils soient munis de masselottes considérables et qu'on ait soin d'alimenter ces masselottes.

Enfin lorsque le métal est solidifié, il faut débarrasser le moulage autant que possible de son enveloppe qui gênerait les contractions, et le faire refroidir très-lentement dans une étuve ou plutôt dans un four à recuire. A l'usine Vickers, de Sheffield, la fonderie est tellement disposée que les châssis avec les pièces coulées, portés sur des wagons, peuvent être poussés dans les fours à recuire au sortir même des fosses de coulée. On prétend même que les moulages d'acier très-doux sont coulés en acier dur qu'on adoucit ensuite par un recuit au sein d'une poudre oxydante, opération semblable à la fabrication de la fonte malléable, et j'ai quelques raisons de le penser ainsi.

Les moulages sont, la plupart du temps, employés tels qu'ils sortent des moules après burinage et ébarbage, surtout lorsque leur forme est un peu compliquée; il est rare qu'on puisse les marteler pour améliorer la qualité de l'acier.

Digitized by Google

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

La *Société de Bochum* attirait tous les regards par sa splendide exposition. On y remarquait :

Quatre cloches pesant 14 750, 9 000, 4 500 et 1 800 kilogrammes, la plus grande ayant des dimensions réellement colossales ;

Des croisements et changements de voie en acier fondu moulé ;

Diverses roues pleines pour locomotives et pour wagons, dont une paire parfaitement polie (les roues motrices pour locomotives ayant $1^m,72$ de diamètre);

Un moulage de vingt-deux roues pleines coulées d'un seul tenant, pesant environ 10 000 kilogrammes ;

Un cylindre de presse hydraulique pesant 6 925 kilogrammes;

Un cylindre à vapeur pour locomotive avec canaux de vapeur et plaque, en un seul moulage.

Cette dernière pièce attestait la perfection du procédé, et a beaucoup frappé les curieux. Après l'avoir examinée, j'ai cru remarquer qu'elle présentait les indices d'un recuit oxydant, et je crois assez volontiers qu'elle a été coulée en acier très-dur recuit ensuite en caisse.

A côté de ces moulages, la société exposait de très-beaux échantillons de forgeage et de laminage, des rails, bandages, essieux, etc.; mais il est permis de croire que le dosage de ces aciers n'était pas le même que celui des moulages et que ce n'est pas de l'un de ceux-ci qu'on aurait pu détacher la tournure de 48 mètres de longueur affichée dans la vitrine de Bochum.

Les roues pleines en acier fondu de Bochum ont une ténacité et une dureté extrêmement remarquables ; les expériences faites jusqu'à ce jour prouvent qu'elles peuvent parcourir une distance moyenne de 90 000 kilomètres avant qu'il soit nécessaire de les passer au tour ; il en est qui ont parcouru plus de 135 000 kilomètres sans avoir encore eu besoin d'être

Digitized by Google

tournées. L'administration du chemin de fer de Cologne-Minden a publié un résumé où on démontre par la statistique qu'une usure d'un seizième de pouce (1mm,6 environ) correspond à un parcours de 39248 kilomètres pour ces roues, et de 10 500 kilomètres seulement pour les bandages en fer d'Angleterre et de Westphalie. En 1867, la société de Bochum avait déjà fabriqué plus de 20000 roues.

Les cloches d'acier fondu coûtent seulement les deux cinquièmes environ du prix des cloches en bronze. La société de Bochum fait payer pour les cloches au-dessous de 100 kilogrammes 2 francs par kilogramme; pour celles de 100 à 150 kilogrammes 1 fr. 88 par kilogramme; pour celles de 150 à 20 000 kilogrammes 1 fr. 63.

MM. Vickers et fils (ancienne maison Naylor, Vickers et Cie) n'avaient exposé aucun produit de leur belle usine de la Rivière Don (*River Don Works*) à Sheffield, mais j'ai pu constater personnellement, en 1869, quels progrès la fabrication des moulages d'acier avait faits chez eux. Sans parler des canons, des cloches, des croisements, des roues, des maquettes pour bandages, j'ai vu couler chez eux des pièces délicates et compliquées comme des glissières, des pistons, des engrenages, des flasques de charrues avec leurs socs. Les cloches se moulent en sable et dans des châssis et non pas par les procédés du moulage en terre. Les croisements de voie de MM. Vickers et fils sont très-estimés; ils en fabriquent considérablement et leur magasin de modèles comprend plus de 60 000 francs de modèles divers de croisements en acier reversibles et non reversibles; il en reste un pour le chemin de fer souterrain de Londres (Metropolitan railway), qui a près de 6 mètres de longueur. Ces croisements sont presque aussi durs que ceux en fonte trempée, et leur ténacité est incomparablement plus grande.

En France, *MM. Petin, Gaudet et Ce* exposaient en 1867 des croisements de différents types, des pignons et roues d'engrenage, des roues de wagonnets et une pièce fort remarquable, qui était une frette à tourillon pour ceinture d'appareil Bessemer, le tout en acier moulé à Assailly. Ils

Digitized by Google

ont fabriqué des pièces importantes, comme les éperons du *Magenta* et du *Solférino*, pesant 16 000 kilogrammes chacun et des cages de laminoirs pour leurs propres usines.

*MM. Holtzer Dorian et C*e, d'Unieux, exposaient des cloches, des pignons, des roues d'angle, un petit canon en acier moulé ; la *Société d'Imphy Saint-Seurin* des croisements pour les chemins de fer de l'Ouest, une pointe de cœur pour l'Orléans, une glissière pour le Creusot, des pignons, en acier Bessemer moulé. *MM. F.-F. Verdié et C*e, de Firminy, avaient une vis sans fin, des pignons et des manchons de laminoir, des équerres pour plaques tournantes, une roue d'angle en acier Martin moulé. L'*usine de Terrenoire* exposait comme moulages en Bessemer un gros engrenage pour Allevard, un pignon de tôlerie ayant servi trois ans. Mais aucune de ces usines ne peut être comparée à celles de Bochum ou de Sheffield pour la régularité et la beauté de cette fabrication spéciale.

MM. Coutant frères, des forges d'Ivry, exposaient quelques pièces en acier fondu, fabriqué par le procédé Micolon, et moulé, parmi lesquelles des croisements de voie et une petite hélice pour canot à vapeur ; ils avaient aussi des marteaux moulés et ensuite étirés en pointe ou en tranchant ; mais ces objets n'étaient pas encore en fabrication commerciale courante. Divers petits fondeurs de Paris ont des procédés secrets pour la fabrication des petits objets en acier moulé ; je ne puis ici m'étendre davantage sur ce sujet.

Digitized by Google

CINQUIÈME ET DERNIÈRE PARTIE

FABRICATION DES FERS ET ACIERS OUVRÉS

Introduction. — Le titre de cette dernière partie de notre Revue embrasserait un champ inépuisable, un programme impossible à réaliser ici, si je devais le prendre avec toute la largeur qu'il comporte ; mais telle ne peut être mon intention. Je me contenterai d'exposer les résultats de mon étude de l'Exposition, au triple point de vue des appareils, des procédés et des produits, seulement en ce qui concerne un certain nombre de fabrications, et même je serai obligé d'abréger notablement quelques parties de cet exposé pour ne pas dépasser les limites que je dois lui fixer. Je commencerai par examiner les modifications et les perfectionnements survenus dans les principaux appareils des usines, surtout les laminoirs et les marteaux, depuis quelques années ; puis je passerai successivement en revue les fabrications de fers marchands, de fers profilés, de la tôle, des pièces de forge et des blindages, des rails, essieux, roues, bandages, la tréfilerie, et l'étirage des tubes. Le lecteur peut constater que ce programme est encore assez vaste pour exiger bien des volumes si je devais traiter complétement chacune de ses parties.

CHAPITRE PREMIER.

DES APPAREILS DES USINES ACTUELLES.

PREMIÈRE SECTION

Laminoirs.

Préliminaires. — L'invention des premiers laminoirs remonte assez loin, et il est difficile de savoir au juste quelle

Digitized by Google

contrée métallurgique en a eu l'honneur. Vers la fin du seizième siècle on se servait de *spatards* ou laminoirs unis à table courte, en Lorraine et en Alsace, pour fabriquer des fers plats destinés à être ensuite fendus en verges de clouterie. Mais les trousses de *fenderies* paraissent avoir été connues antérieurement : on les employait en Angleterre et en France pour fendre en plusieurs brins les longues plaques fabriquées au marteau. Quoi qu'il en soit, vers l'an 1700, les laminoirs ou cylindres unis étaient employés pour fabriquer les feuilles de tôle destinées à la confection du fer-blanc.

Malgré l'existence d'un brevet Payne, qui ne paraît pas avoir été jamais suivi d'application, c'est à Henry Cort, l'inventeur du puddlage, qu'il faut rapporter aussi l'invention du *laminage en cannelures*, de l'étirage en barres au moyen du laminoir. La rapidité relative de la fabrication du fer au puddling exigeait un outil plus rapide dans son action que le marteau pour l'étirage des barres puddlées. Le brevet de Cort est de 1783. Depuis cette époque jusqu'à la chute de Napoléon Ier, l'Angleterre fit des progrès notables dans la fabrication des fers marchands laminés, alors que la France en était encore réduite uniquement aux fers battus ; le blocus continental empêcha que ces perfectionnements acquis par nos voisins insulaires pussent pénétrer jusqu'auprès de nos maîtres de forge. Après 1815 seulement, les procédés anglais de puddlage et de laminage s'introduisirent en France, et ils s'y sont maintenant améliorés et perfectionnés, au point que, pour le laminage en particulier, les forges françaises ne craignent aucun rival. Sans pouvoir ni vouloir indiquer ici toutes les étapes successives de l'emploi des laminoirs, je vais tâcher de faire comprendre quels sont les progrès les plus importants qui sont réalisés actuellement en commençant par les laminoirs à tôle qui sont les plus anciens en date.

Laminoirs pour plaques et feuilles planes. — Les anciens spatards ou laminoirs en coquilles ne pouvaient produire que des feuilles de tôle pour fer-blanc d'une largeur bien réduite et d'un poids très-peu considérable. Les trains de

Digitized by Google

tôlerie actuels laminent des feuilles de tôle dont le poids dépasse 1000 kilogrammes et la largeur 2 mètres, sans parler des plaques de blindages pour cuirasser les navires qui pèsent plusieurs tonnes. L'outillage a fait, en effet, des progrès considérables pendant les trois siècles qui se sont écoulés.

Nos lecteurs connaissent les laminoirs ordinaires à tôles; les trains diffèrent un peu suivant qu'ils sont destinés à fabriquer des grosses tôles, des tôles ordinaires ou des tôles minces. Pour ces dernières, le train ressemble encore beaucoup aux anciens spatards; les cylindres sont courts, celui supérieur n'est pas équilibré, retombe sur l'inférieur après le passage de la feuille de tôle et ne tourne que par l'effet du frottement; le cylindre inférieur seul reçoit le mouvement de rotation du moteur. Dans les trains pour tôles ordinaires du commerce, les cylindres inférieurs seuls sont commandés par la machine, mais le cylindre supérieur est équilibré dans l'équipage dégrossisseur. Pour les grosses tôles et les plaques, tous les cylindres sont commandés et équilibrés. Pendant longues années on n'a apporté à ces installations que des perfectionnements de détail, dans la forme et la solidité des colonnes et des empoises, dans la commande des vis de réglage, dans la construction mécanique des cages et des transmissions. Un des plus considérables a été l'amélioration des fondations des cages; au lieu de les établir sur des beffrois en charpente, encombrants et coûteux, qui amenaient le ferraillement au bout de peu d'années, on pose maintenant les bâtis sur des fondations en maçonnerie, en interposant seulement des longrines en bois ou même une simple feuille de plomb, et on les fixe avec des boulons de fondation clavetés dans les fosses au-dessous de sommiers en bois ou de courtes plaques en fonte. Les fondations sont ainsi plus durables, plus rigides et permettent de travailler avec plus de précision.

Mais, pour fabriquer aisément des tôles d'un poids considérable dont la manœuvre n'est pas facile à bras d'homme, on a dû imaginer des dispositions spéciales. Elles se ré-

Digitized by Google

sument dans deux systèmes différents : les *laminoirs à changement de marche* et les *laminoirs à tablier-releveur*.

L'idée de faire changer le sens du mouvement de rotation des cylindres pour pouvoir y faire repasser le fer sans avoir à le soulever et à le pousser par-dessus le cylindre supérieur, est ancienne et remonte jusqu'à 1838. En 1850, Th. Walker prit une patente pour la fabrication des tôles avec un laminoir à changement de marche. Actuellement ce système est très-employé dans la plupart des grandes usines à fer de l'Angleterre ; je citerai l'usine de Skerne à Darlington (voir p. 183), celles d'Elsecar, d'Atlas (J. Brown et C°) à Sheffield, celle de Barrow dans le district des Lacs, entre autres.

Le changement de marche s'obtient par divers moyens. Le plus anciennement connu et l'un des plus employés encore, au moins en France et en Belgique, est celui qu'on trouvera représenté pl. XXXVII et XXXVIII, avec quelques perfectionnements de construction dus à MM. Marrel frères, de Rive-de-Gier ; il se compose essentiellement de deux manchons d'embrayage à griffes ordinaires, calés l'un sur un arbre en prolongement de l'arbre moteur, l'autre sur un arbre de transmission intermédiaire placé latéralement ; suivant que l'un ou l'autre des manchons est agrafé, les cylindres tournent dans un sens ou dans l'autre. Dans le laminoir de MM. Marrel, les deux manchons, dont les griffes sont tournées en sens contraire, se meuvent parallèlement à eux-mêmes et de quantités égales dans le même sens ; lorsque l'un est en prise, l'autre est libre, et on obtient un mouvement sûr et rapide au moyen d'un petit cylindre à vapeur spécial placé entre les deux arbres (un cylindre hydraulique eût été préférable à cause de son action moins brusque). Ailleurs, les deux manchons se meuvent aussi parallèlement, mais l'un en avant et l'autre en arrière sous l'action d'un levier à double fourchette dont le pivot est entre les deux arbres ; les griffes des manchons sont alors placées du même côté. Les deux arbres principaux dans ce système de changement de marche peuvent être placés dans un plan horizontal, comme dans le laminoir Marrel, ou dans un plan vertical comme dans

Digitized by Google

d'autres laminoirs alternatifs de la Loire. En Angleterre, on préfère un système de changement de marche dans lequel ne se trouve qu'un seul manchon d'embrayage qui est alors à double effet, c'est-à-dire pouvant embrayer d'un côté comme de l'autre ; il est calé sur l'arbre de communication avec le train et placé entre deux roues d'engrenage folles sur cet arbre et tournant en sens inverse l'un de l'autre sous l'action d'une transmission appropriée ; les moyeux de ces roues portent des griffes et le manchon peut, en glissant sur l'arbre, aller s'agrafer avec l'une ou avec l'autre, le mouvement de glissement s'obtenant au moyen d'un cylindre-vapeur spécial ; MM. Tannett, Walker et Cᵉ, de Leeds, construisent des trains avec ce système de changement de marche. Mais il présente encore un inconvénient assez grave : le manchon doit effectuer un mouvement assez considérable pour se dégrafer d'un côté et pour s'agrafer de l'autre ; aussi plusieurs usines anglaises, celle de Barrow, notamment, emploient des manchons d'embrayage à friction avec lesquels il suffit d'un mouvement de quelques millimètres. Les disques de ces manchons sont couverts d'une série de saillies triangulaires concentriques qui vont s'appliquer dans des cannelures de forme correspondante pratiquées dans les faces des moyeux des roues. Dans d'autres laminoirs anglais, et dans un ou deux laminoirs français, on emploie un système d'embrayage à friction dans lequel on met en contact simplement des disques plans, en les serrant l'un contre l'autre par une énergique pression hydraulique : c'est le *système Chalas* (1), avec lequel les pièces mobiles n'ont pas à se déplacer de plus d'une fraction de millimètre pour effectuer l'embrayage et le débrayage. Ce système présente encore un avantage dont tous les praticiens comprendront l'importance ; le lamineur peut embrayer et débrayer lui-même en tournant un robinet placé à sa portée.

Mais il est un autre moyen de changer le sens du mouve-

(1) M. Chalas est un ingénieur mécanicien français attaché à la maison Kitson, de Leeds.

Digitized by Google

ment des cylindres d'un laminoir, c'est de renverser le mouvement de la machine motrice; l'idée en est due à Nasmyth, qui la fit patenter en 1853, mais elle n'avait jamais été appliquée jusqu'en 1863, époque où *M. J. Ramsbottom*, le célèbre ingénieur des ateliers du chemin de fer Great-Western à Crewe, construisit son *laminoir à tôles perfectionné*. Ce remarquable appareil, composé de deux cages à cylindres, est conduit par deux machines horizontales accouplées à 90 degrés, que l'on peut renverser sans fermer la vapeur, au moyen d'une coulisse manœuvrée par un cylindre hydraulique. Les machines sont assez puissantes pour entraîner le bloom sans l'aide d'un volant; on ne met en train qu'au moment même du laminage. C'est la chaudière à vapeur qui sert de volant; l'usure et le graissage sont réduits à un minimum. Les changements de sens du mouvement se font sans chocs dangereux, les efforts se reportant sur le coussin élastique de vapeur dans les cylindres des machines. On a trouvé dans un essai qu'on pouvait renverser le mouvement avec tout le train en marche jusqu'à soixante-treize fois dans une minute. Ce système de laminoir alternatif est fort commode et peu sujet aux accidents; seulement il coûte un peu plus cher d'établissement, parce qu'il faut avoir des cylindres-vapeur de force un peu surabondante à cause de l'absence de volant; il faut aussi, à cause de la faible vitesse ordinaire des trains à tôles, une paire d'engrenages qui permette l'emploi d'une machine à plus grande vitesse. Plusieurs laminoirs Ramsbottom fonctionnent déjà en Angleterre et aux États-Unis (Crewe, Landore, Philadelphie).

On emploie aussi, pour les grosses tôles, des laminoirs ordinaires à un seul mouvement, munis de grands *tabliers articulés oscillant autour d'un axe horizontal* placé à une assez grande distance derrière les cylindres, et pouvant prendre lui-même un mouvement oscillant autour d'un axe horizontal parallèle situé au-dessous du sol. A l'état de repos, le bord du tablier est devant les cylindres faisant suite à la plaque de garde; lorsque la feuille a passé, elle s'étend sur

Digitized by Google

le tablier. Le bord de celui-ci, au moyen d'une poulie et d'une corde enroulée sur un manchon fixé à un trèfle, ou bien au moyen d'une crémaillère et d'un pignon auquel le mouvement est transmis, peut s'élever au niveau de la génératrice la plus haute du cylindre supérieur, en s'avançant jusque dans son voisinage ; le tablier est articulé de façon que sa partie antérieure fléchisse et se place horizontalement pour qu'on puisse tirer sans difficulté la tôle par-dessus le cylindre, de façon à faire retomber son bord postérieur sur le tablier fixé à l'entrée, prêt à s'engager de nouveau entre les deux cylindres. Au moyen de contre-poids convenablement distribués, on équilibre le poids des pièces mobiles, de façon à ce que le moteur n'ait à soulever que le poids de la plaque en laminage.

Pour les cylindres dégrossisseurs, où passent les paquets ou les brames, dont la longueur n'est pas encore considérable, on emploie souvent les *releveurs à cages*, soit *unilatéraux*, soit *bilatéraux*. Ils se composent essentiellement d'un plateau suspendu à des tringles guidées et qui peut monter et descendre sur la hauteur du cylindre supérieur. On en a un exemple dans le laminoir à tôles de l'usine de Neustadt, construit par M. Borzig, de Berlin, et qu'on trouvera décrit dans la *Revue universelle*, t. VIII, p. 444.

Laminoirs pour barres simples et profilées. — On sait que, depuis l'introduction en France de la méthode anglaise pour la fabrication du fer, les laminoirs à fers marchands se distinguent, suivant les dimensions de la plus grosse cannelure dégrossisseuse, en *gros mills*, *moyens mills* et *petits mills*. On a perfectionné ces outils en augmentant leur force, leur vitesse, la puissance de leurs moteurs, en améliorant certaines parties de la construction, les fondations, les transmissions notamment ; mais on n'a pas apporté de changement à leur disposition même, tant qu'il ne s'est agi que de fabriquer des fers ronds, des fers carrés ou des fers plats des dimensions même les plus considérables usitées dans le commerce.

Toutefois, la multiplicité des dimensions différentes de

Digitized by Google

fers plats, multiplicité qui oblige, d'une part, à avoir en magasin un grand nombre de jeux de cylindres différents, d'autre part, à démonter souvent les laminoirs (ce qui diminue la production et augmente le prix de revient), a amené diverses tentatives des ingénieurs pour simplifier leur matériel et leur fabrication.

On sait que, lorsqu'une barre de fer passe entre les cylindres, ses dimensions changent notablement ; son épaisseur diminue, sa longueur, ainsi que sa largeur, augmentent. L'accroissement de la largeur dépend en même temps, et de la pression verticale et de la structure de la barre ou du paquet, mais surtout de la première, qui est réglée au moyen des vis de serrage des colonnes. Mais la largeur ne peut être régularisée qu'au moyen des rondelles saillantes ou *encolures* dont la position sur les cylindres est fixe. Comme à une largeur de fer déterminée correspond une certaine position de ces encolures, il en résulte que, pour chaque largeur différente, on est obligé de changer les cylindres, et d'en avoir un grand nombre en magasin.

On a essayé de remédier à ce dernier inconvénient en rendant les encolures indépendantes, et en les fixant à la demande du fer à fabriquer. Mais ce mode, alors même qu'il serait toujours praticable, entraîne encore le changement de la paire de cylindres ; du reste, il ne peut être appliqué que dans des limites assez rapprochées. L'Exposition de 1867 témoignait cependant d'une tentative pour reprendre à nouveau ce système : c'était le système de *laminoir différentiel* exposé en modèle par la société des forges de Châtillon-Commentry. Dans cet appareil, les encolures formant les côtés d'une cannelure plateuse peuvent se rapprocher et s'éloigner à volonté au moyen d'une vis à deux filets inverses ; le cylindre supérieur est équilibré par sa suspension à deux grands ressorts installés sur les deux colonnes. J'ignore comment fonctionne cet appareil qui existe ou a existé, dit-on, aux forges de Montluçon ; mais je crois son efficacité et sa commodité très-douteuses, quoique le catalogue de l'Exposition de Commentry annonçât qu'il permettait le *lami-*

Digitized by Google

nage de toutes largeurs de fers plats sans changement de cylindres.

Pour certains usages on emploie cependant couramment un système de laminoir qui permet de modifier et de régler dans la même cage et entre les mêmes cylindres l'épaisseur et la largeur ; c'est celui qu'on nomme *laminoir à gradins.* On y opère en laminant tantôt sur champ et tantôt à plat. Autrefois, il était très-employé pour la fabrication des fers plats, et je l'ai encore rencontré dans le dépôt de cylindres d'une ancienne forge comtoise ; mais, comme il n'y a pas de pression latérale, et que le dernier passage se fait à plat, la tranche du fer obtenu est toujours un peu convexe ; de plus, les modifications de largeur ne s'obtiennent que dans des limites assez restreintes. Aussi le laminoir à gradins est-il abandonné pour la fabrication des fers plats, et on ne le trouve plus que dans les aciéries qui fabriquent des feuilles de ressorts pour chemins de fer. La forge de Prevali (Styrie) exposait un cylindre de laminoir à gradins.

Le *laminoir universel* a été imaginé par M. Daelen, ancien directeur général des usines de Hoerde (Westphalie) pour fabriquer des fers plats de largeur et d'épaisseur très-différentes dans la même cage et entre les mêmes cylindres. Il se compose d'une paire de cylindres verticaux placés derrière la paire de cylindres horizontaux ; ceux-ci, grâce à un système d'équilibrage analogue à celui des finisseurs de tôlerie, peuvent s'écarter ou se rapprocher à volonté ; les cylindres verticaux peuvent aussi, par une disposition mécanique, s'écarter ou se rapprocher au gré des lamineurs. L'intervalle entre les quatre cylindres forme ainsi une cannelure rectangulaire dont les dimensions varient à volonté. Il y avait à l'Exposition le modèle d'un très-bon spécimen de laminoir universel à fers plats exposé par M. Wagner, directeur de l'usine impériale de Mariazell (Autriche). On trouvera pl. XXXIX des dessins qui en font comprendre assez complétement les dispositions pour que je puisse me contenter d'en signaler quelques-unes. Le tourillon inférieur de chaque cylindre vertical, formant pivot, tourne dans une crapaudine suppor-

Digitized by Google

tée par un chariot qui se meut sur deux glissières horizontales ; ce chariot porte en même temps un engrenage cylindro-conique qui, d'une part, engrène avec le pignon d'angle placé sur le collet du cylindre, et, d'autre part, avec un pignon cylindrique placé sur l'arbre de commande des cylindres verticaux ; ce pignon est assez long pour rester engrené avec l'engrenage mobile dans toutes les positions qu'il peut occuper. A l'entrée de la cannelure sont deux guides latéraux solidement établis, et qu'on peut avec une vis écarter ou rapprocher ; ils servent à amener le fer bien perpendiculairement aux axes des cylindres. A la sortie des cylindres horizontaux se trouvent des plaques de garde qui se meuvent avec les chariots, et qui empêchent le fer plat de s'enrouler autour du cylindre inférieur; pour remplir le même office vis-à-vis du cylindre supérieur, il y a une plaque de garde de forme particulière fixée aux deux empoises supérieures de ce cylindre, et pouvant monter et descendre avec elles. Ce laminoir Wagner est plus compliqué que certains autres laminoirs universels destinés aux fers plats, mais il réunit la plupart des perfectionnements dont la pratique a montré l'utilité. Il faut remarquer que, dans ces laminoirs, la vitesse à la circonférence des cylindres verticaux doit être un peu plus grande que celle des cylindres horizontaux, puisque le fer s'est allongé en passant entre ceux-ci.

On a eu en France l'idée de faire servir les laminoirs universels à la fabrication des plaques de blindages pour cuirasses de navires, plaques qu'on fabriquait auparavant, soit dans des trains de tôlerie, soit au marteau pilon ; cette idée est due à M. Petin, Gaudet et Cᵉ, qui ont les premiers installé un train de dimensions et de puissance considérables pour cette nouvelle fabrication. Leur exemple a été suivi, et les laminoirs à blindages sont actuellement presque partout des cages de tôlerie très-fortes, à changement de marche, auxquelles on a adjoint une paire de cylindres verticaux. Le poids considérable des plaques empêche, en effet, qu'on ne puisse employer des systèmes de relevage à tablier ou autres. L'Exposition de 1867 contenait un bel exemple de laminoir à

Digitized by Google

blindages : c'était celui exposé par MM. Marrel frères, de Rive-de-Gier, à l'état de modèle en mouvement, réduit à l'échelle de 1/5. Les cylindres du laminoir, alors en construction dans l'usine de MM. Marrel, ont 3m,30 de longueur et 1 mètre de diamètre, de sorte que le modèle constituait encore un laminoir de dimensions assez ordinaires ; il était accompagné de sa cage à pignons et de sa machine à vapeur motrice, et il a fonctionné pendant une bonne partie de la durée de l'Exposition ; on peut le voir actuellement dans les galeries du Conservatoire des arts et métiers. MM. Marrel exposaient aussi les modèles en bois pour le moulage d'un cylindre et d'une colonne du laminoir, de sorte qu'on pouvait juger aisément de la puissance et des dimensions de ce monstrueux outil. Je donne pl. XXXVII et XXXVIII des dessins complets du modèle, d'après des levés faits sur place avec l'autorisation obligeante de MM. Marrel ; ils me dispenseront de m'étendre beaucoup au sujet de ce laminoir.

Comme particularité, il faut signaler la présence de deux jeux de cylindres verticaux qui ont été disposés devant et derrière les cylindres horizontaux, afin qu'on puisse donner de la pression latéralement aussi bien à l'aller qu'au retour ; j'ignore si la pratique a justifié l'utilité de cette addition aux laminoirs à blindages, qui n'ont généralement qu'une paire de cylindres verticaux ; mais je suis disposé à en douter. Chacun des cylindres verticaux fonctionne pour son propre compte, c'est-à-dire peut se déplacer parallèlement à lui-même sur les glissières sans que l'autre en fasse autant. Le règlement de l'épaisseur des plaques se fait au moyen des vis qui reposent sur les empoises du cylindre supérieur, sans l'intermédiaire de boîtes de sûreté (en cas de choc ou d'accident, les ruptures se font aux moufflettes ou aux allonges qui sont creuses) ; pour rectifier les différences éventuelles qui pourraient amener un défaut de parallélisme des cylindres, il y a dans une des empoises du cylindre supérieur, au-dessous de la vis, un coin mû par une vis horizontale et transversale.

Les cylindres horizontaux du grand laminoir ont 3m,30

Digitized by Google

de diamètre et 1 mètre de longueur ; les cylindres verticaux ont 50 centimètres de diamètre ; le nombre de tours par minute des premiers est 20 tours, des seconds, 40 tours ; la force des deux machines accouplées doit être de 800 chevaux environ.

L'appareil entier doit peser 410 000 kilogrammes environ, et coûter 1 200 000 francs avec les fondations, et une halle de 50 mètres sur 60 mètres. On compte pouvoir y fabriquer des blindages jusqu'à 2 mètres de largeur sur 40 centimètres d'épaisseur, et, en démontant les cylindres verticaux, des tôles de $3^m,20$ de largeur.

On fabrique en Angleterre, à l'usine de la Mersey (Liverpool), des fers plats à épaisseur décroissante, *taper iron*, qui sont employés dans la construction des navires pour les courbes de pont ; ces fers méplats ont tantôt une épaisseur décroissante d'un bout à l'autre de la barre, tantôt ils ont leur épaisseur maximum au milieu, et décroissent vers les deux extrémités. Ils sont obtenus dans le *laminoir Clay*, ingénieux outil imaginé en 1848. Les empoises du cylindre supérieur sont disposées de façon à s'élever graduellement dans les colonnes pendant le passage de la barre, de sorte que la distance entre les deux cylindres augmente et que la barre prend une forme de coin allongé. On obtient ce déplacement parallèle des empoises en faisant appuyer les deux vis contre les pistons de deux cylindres remplis d'eau, pistons qui restent fixes à cause de l'incompressibilité de l'eau tant que celle-ci ne peut s'échapper, mais qui s'élèvent plus ou moins vite lorsqu'on ouvre au liquide une issue plus ou moins grande.

Mais les perfectionnements apportés aux laminoirs ne sont pas restés localisés dans ceux qui fabriquent des barres à section rectangulaire. Il y en a aussi de nombreux à signaler dans ceux qui servent à la fabrication des rails et des fers profilés.

Dans beaucoup d'usines, et pour certains travaux, la fabrication des rails, par exemple, on n'emploie pas le marteau pilon pour effectuer le soudage et le serrage des paquets, et

Digitized by Google

on se sert des cylindres dans ce but; mais on a franchement effectué la division du travail et séparé le serrage du dégrossissage en abandonnant les antiques cannelures ogivales pour le premier, et en le confiant à des cannelures rectangulaires non emboîtées, dites *soudantes* ou *blooming*. Quelquefois on place ces cannelures sur les mêmes cylindres que les cannelures dégrossisseuses, mais c'est un tort quand on peut faire autrement, parce que les faibles vitesses sont préférables pour le soudage et les grandes vitesses pour le dégrossissage. Dans les grandes forges anglaises, on se sert d'équipages soudants spéciaux qui portent les trois ou quatre cannelures rectangulaires, et qui tournent moins vite que les équipages dégrossisseurs et finisseurs. Il est important que le serrage soit effectué complétement pendant que le paquet est encore à la chaleur soudante; c'est pourquoi l'équipage soudant est tantôt à mouvement alternatif, tantôt à trois cylindres avec appareil de relevage, de façon à travailler dans les deux sens. Depuis peu de temps, on est même allé plus loin dans le pays de Galles; on a établi des *machines à souder les paquets de While* composées de deux (Aberdare) et même trois (Ebbw-Vale, Dowlais) paires de cylindres, dont deux horizontales et une verticale, portant toutes trois chacune une cannelure soudante, de sorte que les trois cannelures se trouvent en face l'une de l'autre, et que le serrage se fait en une seule passe. En France, un habile directeur de laminoirs, M. Helson, des forges de la Providence, a imaginé un *train lamineur soudeur à galets compresseurs* qui a un but analogue : le paquet passe dans des cannelures soudantes formées chacune par quatre cylindres tournants, dont les axes sont dans un même plan, et disposées l'une à côté de l'autre, de façon à ce que le sens des passages soit alternativement d'avant en arrière et d'arrière en avant; mais j'ignore si cet appareil, bréveté en 1861, est employé avantageusement dans quelques usines. Ailleurs, on soude en employant la cannelure unique du laminoir universel, qu'on rétrécit par le rapprochement des cylindres à chaque passage.

Le dégrossissage des barres profilées se fait maintenant

Digitized by Google

souvent dans des équipages trijumeaux ou dans des équipages à changement de marche. Les premiers ont été et sont encore très-employés ; ils exigent l'emploi d'un appareil de relevage lorsque les blooms sont de poids un peu considérable, afin que les passages puissent se succéder rapidement. Les releveurs mécaniques qu'on adopte aux cages dégrossisseuses sont ordinairement des plateaux guidés suspendus, et qui peuvent monter et descendre d'une hauteur égale au diamètre du cylindre moyen sous l'action d'un balancier commandé par un petit cylindre à vapeur spécial, ou d'une corde passant sur des poulies, et dont l'autre extrémité s'enroule sur un manchon tournant avec les cylindres. Ces releveurs sont unilatéraux ou bilatéraux, c'est-à-dire que, dans ce dernier cas, le bloom ne retombe pas librement du haut en bas du cylindre intermédiaire, mais redescend avec un plateau guidé et équilibré. Quand on emploie un train à mouvement alternatif, on n'a plus besoin de relevage. Il est avantageux d'opérer aussi rapidement que possible le dégrossissage, surtout pour certaines natures de fer ; aussi, à la grande usine de Dowlais, le directeur, M. Menelaus, a imaginé de se servir d'un appareil analogue à la machine à souder de While, muni de trois paires de cylindres portant chacune une cannelure dégrossisseuse, ces trois cannelures étant profilées de façon à pouvoir servir pour des rails de sections différentes, quoique de même type. M. Menelaus a même conseillé à une grande usine française, qui fabrique des quantités considérables de rails de même section, d'installer ses sept cannelures dégrossisseuses sur sept paires de cylindres alternativement horizontales et verticales.

Dans les équipages dégrossisseurs à deux cylindres, destinés à la fabrication de fers profilés comme des rails ou des poutrelles, et portant des cannelures emboîtées, on monte souvent le cylindre supérieur sur contre-poids à la manière des cages de tôlerie, afin de pouvoir l'écarter ou le rapprocher à volonté du cylindre inférieur ; on peut ainsi, avec une même paire de cylindres, dégrossir des barres différant assez notablement de dimensions, sinon de formes transversales.

Digitized by Google

L'emploi de ce système, joint à celui du mouvement alternatif, peut même permettre de dégrossir un rail, par exemple, en le faisant passer un certain nombre de fois dans la même cannelure, qu'on resserre à mesure par l'abaissement du cylindre supérieur. M. Daelen, l'inventeur du laminoir universel, a même imaginé de dégrossir des cornières, des fers à E, des fers à U, dans une cage à quatre cylindres analogue à celle du laminoir universel.

Le finissage se fait encore, la plupart du temps, avec un équipage ordinaire à deux cylindres; toutefois il a été aussi l'objet de nombreux perfectionnements, surtout en ce qui concerne les rails et les poutrelles, perfectionnements ayant presque toujours surtout pour but de profiter le plus possible de la chaleur du fer en effectuant les passages très-rapidement. On emploie dans quelques forges des équipages finisseurs trijumeaux; mais si la barre est lourde ou longue, le relevage est difficile à opérer, à moins d'installer soit des tabliers articulés, soit des chariots releveurs à table (comme on l'a essayé, je crois, aux forges de Saint-Jacques, à Montluçon). La même difficulté existe avec les équipages à quatre cylindres horizontaux, comme celui d'un des trains à rails de Dowlais, tournant deux à deux en sens inverse. L'emploi d'un changement de marche est beaucoup plus rationnel et plus commode en pratique; s'il ne s'est pas répandu davantage jusqu'à ces derniers temps, c'est très-probablement parce qu'on ne connaissait pas d'autre système que celui avec manchons à griffes, système qui ne fonctionne pas avec sécurité pour des vitesses de cylindres supérieures à 30 ou 40 tours par minute. Les grandes vitesses (60 à 80 tours par exemple) sont avantageuses pour la rapidité du travail, et c'est pour pouvoir les employer que certaines usines ont construit des finisseurs trijumaux. On en voyait un exemple très-remarquable à l'Exposition de 1867, dans le dessin du beau laminoir trio, dit *système Talabot*, qui figurait avec ses produits dans l'exposition des forges d'Anzin : ce laminoir a deux équipages trijumeaux, l'un dégrossisseur, l'autre finisseur; il est muni d'un appareil de relevage mécanique

Digitized by Google

et la vitesse des cylindres atteint 80 tours par minute. Mais, maintenant, depuis l'invention des manchons à friction hydrauliques, système Chalas, et des laminoirs alternatifs sans volant, système Ramsbottom, systèmes qui permettent le changement de marche jusqu'à 80 tours et au delà, rien ne s'oppose plus à l'emploi des équipages à mouvement alternatif pour le finissage rapide des plus grands fers profilés. La rapidité du travail peut même être encore augmentée en disposant les cannelures sur les deux cylindres, de façon, qu'en passant d'une cannelure à l'autre, le cylindre inférieur soit alternativement mâle et femelle ; cette disposition débarrasse les lamineurs de l'obligation de retourner la barre sens dessus dessous à chaque passage, et nécessite seulement que les gardes à la sortie des cannelures soient alternativement placées vers le bas et vers le haut. Il y avait à l'exposition, des barres très-longues exposées par certaines usines et qui ne pouvaient avoir été fabriquées qu'au moyen de ce perfectionnement.

Au lieu de finir les fers profilés dans une série de cannelures emboîtées ordinaires, on a essayé d'employer une seule cannelure dont on diminue la section à chaque passage. C'est le but du *laminoir Petin Gaudet* à fers profilés, qu'on trouvera representé pl. XXXVIII, fig. 4 à 7. Dans cet appareil, les quatre cylindres ou plutôt les deux cylindres horizontaux et les deux galets à axe vertical (qui ne sont pas commandés par le moteur, mais tournent par le seul effet du frottement), ont leurs axes dans un même plan, comme dans le laminoir soudeur de Helson.

Laminoirs pour anneaux et bandages. — Le premier appareil pour laminage annulaire a été installé, si je suis bien informé, vers 1845, par un M. Jackson, de Salford (Angleterre), mettant en œuvre une idée émise en 1843 par J.-G. Bodmer, pour le calibrage exact des bandages de roues de wagon. Bodmer proposait aussi de construire les chaudières en tronçons annulaires, laminés de façon à ce qu'elles ne présentent plus de rivures longitudinales. L'idée de Bodmer pour les chaudières a été reprise à différentes dates pa

Digitized by Google

plusieurs mécaniciens, entre autres par l'habile M. Daelen, de Hoerde, qui, dès 1860, l'appliquait après avoir construit un laminoir spécial fort ingénieux. En Angleterre, M. Bramwell, ingénieur bien connu, a traité ce sujet devant l'Association britannique en septembre 1865. C'est néanmoins en France, dans les usines de MM. Petin, Gaudet et Cᵉ que le laminage des bandages sans soudure entra d'abord dans la pratique, vers l'année 1849. Leur exemple fut suivi en France et en Angleterre : dans ce dernier pays M. Owen, de Rotherham, près Sheffield, entra le premier dans cette voie.

Les laminoirs, pour ce genre de travail ont été l'objet d'une foule de brevets et de patentes, et maintenant on trouve dans les usines des apparells de bien des systèmes différents. Généralement on distingue le laminoir dégrossisseur et le laminoir finisseur, comme lorsqu'il s'agit du laminage ordinaire. Le plus grand nombre de ces appareils a des cylindres, ou manchons lamineurs, placés en porte à faux sur leurs arbres, de façon à ce qu'on puisse enfiler aisément à sa place l'anneau qui doit être laminé. L'un des cylindres, le *cylindre-enclume*, est fixe : c'est généralement le cylindre intérieur dont la partie travaillante est unie. L'autre, le *cylindre-presseur*, peut se rapprocher plus ou moins du précédent de façon à donner plus ou moins de pression pendant le laminage ; sa partie travaillante est profilée de façon que, par sa juxtaposition avec le cylindre enclume, elle forme une seule cannelure ayant la section du bandage fini. La pression se donne au moyen de vis qu'on manœuvre soit à la main, soit plutôt avec l'aide de petits cylindres-vapeur spéciaux, soit encore par l'intermédiaire d'une presse hydraulique. Les deux cylindres sont commandés par la machine à vapeur, et ils sont soit horizontaux, soit verticaux. En France, les laminoirs à bandages de MM. Petin, Gaudet et Cᵉ, de MM. Barroüin et Cᵉ sont horizontaux ; ceux de MM. Verdié et Cᵉ sont verticaux : ailleurs on a des dégrossisseurs horizontaux et des finisseurs verticaux. En Angleterre, le laminoir Rowan a ses cylindres verticaux, et le laminoir Heptinstall a les siens horizontaux.

Digitized by Google

Dans un de ces appareils, en fonctionnement depuis peu d'années à Sheffield, chez MM. Vickers fils et C°, le laminoir dégrossisseur a ses deux cylindres horizontaux, mais dirigés de côtés opposés et mus par des machines différentes, à des vitesses différentes; le cylindre inférieur, qui est celui qui effectue la pression, est monté sur un plateau qu'une presse hydraulique peut faire monter rapidement de façon à fermer d'abord la cannelure et à diminuer ensuite sa section. Grâce à cette disposition, le bandage peut être maintenu sur ses deux plats, la cannelure étant complétement fermée, même lorsque l'anneau est encore à peine dégrossi; le cylindre fixe a une extrémité d'assez faible diamètre pour pouvoir pénétrer dans l'œil d'un anneau même d'un petit diamètre (15 ou 20 centimètres). Le cylindre extérieur, celui d'en bas, est mû par deux machines verticales accouplées de 61 centimètres de diamètre et 915 millimètres de course, tandis que le cylindre intérieur est mû par deux machines verticales aussi, mais n'ayant que 40 centimètres de diamètre et 61 de course. Dans cette même usine, le laminoir finisseur est du système Jackson à cylindres verticaux, comme dans la plupart des usines anglaises.

On a essayé en Angleterre un laminoir dégrossisseur à plusieurs cannelures, de l'invention de M. Longridge; au moyen de deux glissières, mises en mouvement par deux pistons hydrauliques, on peut déplacer rapidement et longitudinalement soit le support de tourillon du cylindre inférieur, soit ce cylindre lui-même; au moyen de deux vis, mues mécaniquement, on peut soulever rapidement le cylindre supérieur. Graces à ces dispositions, on peut aisément engager le bandage ou le faire passer d'une cannelure dans la suivante. J'ignore comment cet appareil s'est comporté en Angleterre; mais un système analogue, essayé longuement dans une usine de la Loire, n'a pas donné des résultats assez satisfaisants pour qu'on le conserve.

Laminoirs pour roues a disque plein. — Je ne connais que deux appareils appartenant à cette catégorie. A l'usine de Saint-Chamond, MM. Petin, Gaudet et C° ont un train à

Digitized by Google

roues pleines, ressemblant beaucoup, par sa disposition générale, au train à bandages; les deux axes sont horizontaux et superposés; les cylindres aplatissent et étirent le disque de l'ébauche préalablement formée au pilon; deux galets extérieurs, qu'on peut déplacer à la demande du travail, servent à assurer l'exactitude du laminage de la jante circulaire; le moyeu de la roue, qui est dans un plan horizontal, est placé sur un teton qui recule à frottement doux, à mesure que le disque augmente de diamètre. A l'usine de Hautmont (société de la Providence), le train à roues, imaginé par M. Helson, a ses axes horizontaux parallèles et situés au même niveau, et ressemble beaucoup au précédent; mais la roue soumise au laminage est placée dans un plan vertical, la jante est assurée contre un galet à axe fixe, tandis que le moyeu est emmanché sur un axe qui recule à frottement doux quand le diamètre augmente. Les cylindres lamineurs sont à table unie, cylindrique, tronconique ou curviligne suivant qu'on veut obtenir le disque de la roue d'égale épaisseur, d'épaisseur décroissante ou de forme ondulée. J'ignore si les usines anglaises possèdent un outil analogue.

Laminoirs pour tubes. — On emploie depuis quelques années le laminoir pour fabriquer des tubes en fer, et sur tout en acier, sans soudure, par le procédé inventé par M. Thompson de Bilston et perfectionné par MM. Deakin et Johnson. Les cannelures sont de section circulaire, et au centre de chacune d'elles se trouve un mandrin en forme de poire qui est retenu par une tige fixée à une certaine distance en avant de l'entrée. Si l'on enfile un manchon préparé d'avance sur cette tige, et si on le pousse de façon à ce qu'il s'engage dans la cannelure, les cylindres l'entraînent et il s'étire en forme de tube entre les parois de la cannelure et le mandrin. La gorge de la cannelure peut du reste être excentrique, de façon à former un tube conique extérieurement ou présentant des saillies. On trouvera, pl. XL, fig. 4 et 5, un croquis de ce laminoir.

Commande des laminoirs. — Sans vouloir entrer ici dans l'étude de cet intéressant sujet, je dirai seulement que dans

Digitized by Google

toutes les usines modernes, on abandonne l'encombrante machinerie usitée autrefois, avec ses énormes engrenages, ses longs arbres et ses lourds pignons. La pratique raisonnée permet de déclarer qu'il n'y a plus actuellement qu'un seul mode rationnel de commander un train de laminoirs, c'est l'*action directe*, qui peut s'employer même avec des petits trains quand leur vitesse ne dépasse pas 200 tours par minute. On a la ressource de la *commande par courroies* pour les petits trains dont le nombre de tours est plus grand, ou pour les trains moyens qui font plus de 100 tours. Pour les laminoirs à tôle tournant lentement et pour les laminoirs alternatifs seulement, l'emploi des engrenages est encore justifié, sauf quelques cas particuliers.

DEUXIÈME SECTION

Marteaux.

Préliminaires. — Les anciens maîtres de forges ne connaissaient, comme on sait, que trois sortes de marteaux mus mécaniquement, savoir : les *marteaux de côté* ou *à soulèvement*, les *marteaux à queue*, ou *à bascule*, ou *martinets*, ou *macas*, et les *marteaux frontaux*. Les seuls qui présentassent quelque commodité pour le forgeage des grosses pièces de fer étaient les marteaux à queue et les marteaux à soulèvement : en France on s'était appliqué, dans les grands ateliers de construction, à perfectionner les premiers et à augmenter le poids de leur tête, en conservant le manche en bois ; en Angleterre on avait adopté, au contraire, un système de marteau à soulèvement tout en fonte, dit *marteau à ventre* (*belly helve*). La plupart du temps ces appareils étaient commandés par des roues hydrauliques, et on en trouve encore dans certains districts métallurgiques. J'ai parlé, p. 141, de deux modèles de marteaux, figurant dans l'exposition suédoise, et donné leurs dessins, pl. XXXII, fig. 1 à 9. Depuis 1842, l'invention du marteau à vapeur ou marteau pilon a apporté un grand changement dans l'outillage des usines. Cette invention est attribuée par les uns à M. Nasmyth, le célèbre

Digitized by Google

constructeur anglais de Patricoft, par les autres à Bourdon, alors ingénieur de l'atelier de construction du Creusot; je n'ai pas eu le moyen de vérifier l'exactitude des anecdotes qu'on raconte à ce sujet, mais je crois que, de l'aveu même des Anglais, le premier marteau à vapeur a fonctionné au Creusot. Actuellement il y a une foule de systèmes différents de marteaux pilons, répondant à divers besoins et remplissant des conditions différentes. Je dirai quelques mots de ceux qui figuraient à l'Exposition.

Marteaux pilons pour cinglage ou serrage. — Il existe bien des types différents de marteaux pilons, employés pour le cinglage des loupes, pour le serrage des paquets ou pour le forgeage des grosses pièces; les uns sont à simple effet, les autres à double effet; les uns sont conduits à la main, les autres ont une distribution de vapeur automatique. M. A. Detombay, de Marcinelle (Belgique), avait exposé un marteau de 4 000 kilogrammes, d'une construction fort bien entendue et remarquable par son économie. Cet appareil, dont on trouvera les dessins pl. XXXIII, est un pilon à simple effet, du poids de 4 000 kilogrammes pour la masse mouvante, et d'une chute maximum de 1m,80 ; il peut être desservi par de la vapeur à basse pression comme celle souvent fournie par les chaleurs perdues des fours à puddler ou à réchauffer; la distribution de vapeur, bien équilibrée, se manœuvre à la main, sans mécanisme compliqué. Comme détails de construction on peut encore remarquer : 1° le réservoir d'air comprimé qui surmonte le cylindre vapeur, réservoir muni d'une soupape d'aspiration et d'une soupape d'évacuation, réglée par un ressort à boudin, l'air comprimé remplissant le rôle de heurtoir pour limiter la course ascendante du piston et accroître la rapidité de la chute; 2° le guidage de la tête du marteau qui se fait au moyen de deux glissières rapportées aux bâtis, ayant une section triangulaire pour regagner dans tous les sens le jeu produit par l'usure inévitable au bout d'un certain temps de travail. La chabotte pèse 24 000 kilogrammes, et le marteau complet coûte 18 000 francs, sans compter 5 400 francs en-

Digitized by Google

viron pour frais des fondations. L'usine du Creusot avait exposé des dessins de marteaux pilons de différentes forces, qui prouvent qu'elle continue à tenir un des premiers rangs pour la construction de ces appareils; on a regretté que MM. Schneider et Cᵉ n'eussent pas envoyé un de ces puissants outils, ne fût-ce que pour rappeler que les premiers ont été construits chez eux. Les gros pilons du Creusot sont à simple effet et à double jambage : la distribution de vapeur est faite par deux soupapes équilibrées à double siége, j'y ai remarqué un détail de construction qui a son intérêt; les deux jambages, formant arcade à la partie inférieure sont fortement reliés au bas de la partie qui sert de guidage à la tête par deux plaques en fer boulonnées aux deux pièces de fonte. Le plus grand, à ma connaissance, a été monté aux forges de Guérigny; la masse mouvante pèse 20 tonnes, et la hauteur maximum de chute est 3 mètres; la chabotte pesant 185 tonnes est en huit pièces assemblées et serrées au moyen de fortes frettes en fer. Ce mode de construction pour les chabottes est nouveau et j'ignore quels résultats il donne à la pratique; en Angleterre et en Prusse on préfère couler sur place et d'un seul jet les chabottes trop lourdes pour pouvoir être transportées.

Dans la section anglaise, MM. Thwaites et Carbutt, de Bradford, exposaient plusieurs modèles de nouveaux pilons et un de ces outils de dimensions moyennes : ces appareils étaient remarquables par leur belle et bonne exécution. MM. Thwaites et Carbutt, suivant l'exemple qui leur a été donné par MM. John Brown et Cᵉ, de Sheffield, si je ne me trompe, emploient pour leurs marteaux un peu lourds des bâtis en tôle et fer, de forme bien entendue, qui résistent mieux que ceux en fonte aux chocs et aux vibrations, et qui chargent moins les fondations; cette disposition convient spécialement aux marteaux chargés du serrage et du forgeage des gros lingots d'acier, plus durs à travailler que les blooms de fer. La plupart des marteaux de ces constructeurs sont à admission de vapeur en dessus, avec distribution par tiroir cylindrique équilibré.

Digitized by Google

MARTEAUX PILONS POUR FORGEAGE. — Dans les outils dont je viens de parler, la distribution est le plus souvent manœuvrée à la main ; dans ceux qui sont plus spécialement destinés au forgeage de pièces un peu compliquées et de poids moyen, pièces qu'il importe de travailler rapidement pour économiser les chaudes, on emploie souvent des distributions automatiques qui permettent un plus grand nombre de coups par minute. Une difficulté assez sérieuse se présente à propos de ces mécanismes automatiques ; il faut que le renversement de la distribution, c'est-à-dire la réintroduction de la vapeur sous le piston ne s'effectue que lorsque le coup du marteau s'est amorti sur la pièce en forgeage. Pour arriver à cet important *desideratum*, on comprend que la course du piston doit varier à chaque coup, puisque la pièce diminue d'épaisseur verticale. Les mécaniciens anglais appellent *marteaux à coup mort* (dead blow) ceux qui satisfont à cette condition. M. Sturgeon, de Manchester, en exposait sous ce nom qui ne présentaient rien de bien particulier. MM. B. et S. Massey, de la même ville, exposaient des marteaux d'une bonne construction, à distribution automatique ou manœuvrée à la main, suivant le désir du forgeron.

En France, on trouvait les marteaux pilons de MM. Farcot et fils, à simple ou à double jambage. Ces appareils présentent, comme on sait, une distribution toute particulière qui a surtout en vue l'économie de vapeur. Celle-ci agit directement au-dessus du piston pour produire l'abaissement du marteau, avec 5, 6 ou 7 atmosphères de pression. La surface annulaire qui forme le dessous du piston, autour de la tige carrée qui le relie au marteau, est constamment en communication avec un réservoir de vapeur formé dans l'intérieur du bâti lui-même ; ce réservoir reste toujours plein de vapeur à 2 atmosphères environ, grâce à l'action d'une soupape d'équilibre automatique ; cette pression est juste suffisante pour relever rapidement le piston lorsqu'il a été abaissé par la pleine pression de la vapeur introduite en dessus et lorsqu'on laisse celle-ci s'échapper dans l'atmosphère. On règle les coups en augmentant ou en diminuant

Digitized by Google

la pression de la vapeur au-dessus du piston, ainsi que la durée de son introduction ; on peut agir à pleine pression ou en employant la détente. MM. Farcot et fils obtiennent avec une même dépense de vapeur un effet utile plus considérable, et, avec un marteau plus léger et une moindre chute, des résultats comparables à ceux d'outils plus lourds et plus encombrants. Leur marteau se conduit, du reste, à la main, et n'a pas de mécanisme automatique pour la distribution.

Mais, pour les petits travaux de forge, et notamment pour le corroyage des aciers et pour la fabrication des outils tranchants, lames, etc., on a besoin de petits marteaux pilons capables de remplacer les anciens martinets à queue, et de frapper au moins 300 à 400 coups par minute. Ici une distribution automatique est de rigueur. Deux usines surtout ont la spécialité de construire des marteaux destinés à ce but. MM. Davy frères, de Sheffield, alimentent de leurs marteaux la plupart des aciéries anglaises, et aussi plusieurs aciéries françaises : ils distribuent la vapeur au moyen d'un tiroir cylindrique équilibré fonctionnant dans une sorte de boisseau à lumières annulaires. MM. Keller et Banning, de Hamm (Westphalie), avaient exposé un petit pilon destiné aussi au corroyage de l'acier, et qui paraît fort bien étudié : la distribution de vapeur s'y effectue au moyen d'un robinet creux, légèrement conique, à pressions équilibrées, du système Wilson modifié ; elle est commandée par un levier coudé qui glisse dans une coulisse fixée à la tête du marteau ; celui-ci, d'une seule pièce avec la tige et le piston, est en acier fondu.

Il serait intéressant d'examiner ici, au point de vue de leurs effets utiles, de leur facilité d'entretien et de leurs coûts d'établissement, les divers systèmes de marteaux pilons d'une façon critique et comparative ; mais l'espace et le temps me manquent, et je suis obligé de renvoyer cette étude à une publication ultérieure.

Marteaux a vapeur horizontaux. — L'idée première de cette sorte d'outils semble remonter assez loin ; on la trouve dans un brevet d'invention accordé à MM. Boulard et Gau-

Digitized by Google

thier, directeur et ingénieur des forges d'Audincourt, le 22 mars 1855 ; mais je ne crois pas qu'elle ait été appliquée avant l'époque où M. Ramsbottom, ingénieur en chef du London and North Western Railway, ayant besoin d'un lourd marteau pilon, et trouvant des difficultés dans l'établissement d'une chabotte de 300 tonnes, imagina d'employer deux marteaux agissant dans des directions opposées, en les plaçant horizontalement et en les faisant agir sur le bloom placé entre eux. Il appliqua d'abord cette idée dans la construction d'un *marteau duplex* d'essai de 10 tonnes; je donne pl. XXXV le dessin de sa disposition, d'après les brevets de M. Ramsbottom : on en voyait à l'Exposition un modèle en mouvement. Les deux marteaux sont rapprochés et lancés l'un contre l'autre par la descente du piston d'un grand cylindre à vapeur vertical placé au-dessous et par l'intermédiaire de deux bielles articulées ; mais, ainsi qu'on pouvait le remarquer dans le modèle lui-même après quelques semaines d'exposition, cette disposition manque de solidité, et les articulations de bielles, ainsi que les boulons du cylindre lui-même, peuvent se détraquer pour un coup donné à faux. Cependant un marteau de cette espèce a fonctionné environ trois ans à Crewe. Pour une puissance plus considérable, par exemple pour son grand marteau duplex de 30 tonnes, installé à Crewe en 1867, M. Ramsbottom emploie une autre disposition qui s'apercevra aisément dans la planche XXXVII, où je reproduis les dessins communiqués par le constructeur pendant la réunion des ingénieurs-mécaniciens de Birmingham au Conservatoire des arts et métiers de Paris. Chaque tête de marteau, montée sur huit roues, a son cylindre-vapeur spécial de 965 millimètres de diamètre et $1^{m},067$ de course ; avec le piston auquel elle est reliée, elle forme une masse mouvante pesant 30 tonnes. Le tuyau de vapeur est placé entre les deux cylindres, et se bifurque de façon à ce qu'ils reçoivent tous deux une égale quantité de vapeur. La pression moyenne pendant la course est 30 tonnes sur chaque piston ; l'effet est donc le même que celui qui serait produit par l'action de la pesanteur sur la masse mouvante pendant

Digitized by Google

une hauteur de chute égale à la course. Un arbre en acier, fileté en sens inverse sur les deux moitiés de sa longueur, sert à guider les deux masses et à assurer leur rencontre avec le bloom exactement au même instant. Les lingots ou les blooms qui doivent être martelés se placent sur des trucks de formes variées entre les deux têtes, sur une sorte de table qu'on peut faire osciller à l'aide d'un levier.

Les avantages principaux que M. Ramsbottom réclame pour son système de marteaux sont les suivants :

Il n'a pas besoin d'enclume, la puissance vive de chaque marteau étant équilibrée par celle du marteau opposé. On économise ainsi les frais d'établissement et ceux de redressement éventuel d'une chabotte. La fondation est comparativement peu profonde, ce qui a son importance quand le sol est difficile à drainer.

L'action est équivalente à celle d'un marteau vertical avec une enclume de poids infini. En le comparant à un pilon ordinaire de 30 tonnes, il est évident que chaque marteau, pesant individuellement 30 tonnes, n'a besoin d'être tiré que d'une longueur égale à la moitié de la chute du pilon pour produire le même effet ; on peut donc donner un plus grand nombre de coups dans le même temps. Ceux-ci étant donnés simultanément sur les côtés opposés du bloom, agissent jusqu'au cœur de celui-ci, et la résistance due à son inertie est diminuée de moitié. Les coups se neutralisent l'un l'autre ; par suite, point de vibrations et pas de dommages aux bâtiments ou appareils voisins.

Le marteau duplex est donc un outil économique, soit au point de vue de l'établissement, soit au point de vue de l'entretien. Il se manœuvre très-aisément et avec précision, et il permet aux battitures de tomber librement. Il convient particulièrement au forgeage de gros arbres coudés, des canons et des pièces longues et lourdes.

Pour montrer quelle est la puissance de son marteau duplex de 30 tonnes, M. Ramsbottom citait en 1867 l'étirage d'un lingot d'acier pour arbre coudé, ayant brut 50 centimètres sur 60 centimètres, et 1^m, 04 de longueur, transformé

Digitized by Google

avec 312 coups en une plaque de 30 centimètres × 55 centimètres et de 1m,78 de longueur. Sur ces 312 coups, les 84 derniers étaient de simples coups de parage, les 228 précédents étant suffisants pour faire toute la partie pénible du travail, et ils avaient été donnés à raison de 48 par minute avec une course d'un peu plus de 60 centimètres pour chaque tête. La durée totale du forgeage a été environ vingt-cinq minutes. La plaque une fois finie est légèrement arrondie aux extrémités, le cœur étant plus long que la surface, ce qui prouve clairement que les coups pénètrent jusqu'au centre du lingot : on s'en est assuré du reste encore mieux en examinant la cassure de quelques pièces défectueuses.

En 1867, il n'y avait en Angleterre qu'un seul marteau duplex de 30 tonnes, celui de M. Ramsbottom à Crewe ; mais il y en avait cinq de 10 tonnes, savoir : à Crewe, à Barrow, à Dowlais, à Ebbw-Vale et à Sheffield (chez MM. Cammell et Cᵉ).

Martinets a vapeur a action directe. — Quelques constructeurs ont trouvé utile à certaines natures de travaux de se servir de martinets à manche oscillant analogues dans leurs effets aux anciens martinets à queue, mais commandés directement et sans l'intermédiaire d'un arbre à came par un moteur à vapeur spécial. On en voyait deux exemples à l'Exposition de 1867.

Le premier était l'outil exposé par MM. B. et S. Massey, de Birmingham, et baptisé du nom d'*oliveur à vapeur*. C'est un martinet dont le manche est soulevé dans le voisinage de la tête directement par la tige du piston d'un cylindre à vapeur vertical placé en dessous. Ce cylindre est à double effet, de sorte qu'on peut régler à volonté la force et la rapidité des coups, ce qui se fait au moyen d'une pédale. Cet outil sert plutôt à la fabrication des boulons et des rivets par emboutissage qu'à des travaux de forge proprement dit.

Le second était le *frappeur à vapeur* de M. Davies, de Crumlin (pays de Galles). Cette machine, dont je donne le dessin pl. XXXIV, est destinée, dit l'inventeur, à remplacer les ouvriers frappeurs qui concourent habituellement aux

Digitized by Google

travaux du forgeron. Elle est de construction spéciale, et disposée de manière à pouvoir frapper sous un angle quelconque, verticalement, horizontalement ou obliquement par rapport à la table de l'enclume. De plus, le frappeur est établi de façon à pouvoir desservir plusieurs enclumes à la fois : on le place au centre d'une circonférence occupée par les enclumes et les étampes, et, à l'aide de la pression hydraulique agissant au-dessous de son bâti pivotant, on peut le soulever et le tourner du côté où l'on veut. L'inclinaison variée des coups s'obtient en faisant tourner le cylindre qui contient tout le mécanisme dans le tambour qui l'enveloppe. Le mouvement du manche du marteau est obtenu au moyen d'une courte bielle articulée avec le piston d'un court cylindre à vapeur vertical à fourreau ; une disposition ingénieuse que le dessin fait comprendre, permet de conduire le marteau à la main ou de le laisser fonctionner automatiquement.

Dans l'usine du Viaduc, à Crumlin, où il a été inventé, le frappeur est employé pour forger des boulons et rivets de toutes grosseurs et toutes formes ; il est d'un très-bon usage aussi, dit-on, dans les chantiers de construction pour le soudage, le cintrage, le façonnage des tôles, cornières, fers à T, courbes de navires, etc. M. Davies affirme qu'on obtient par son emploi une économie notable sur le prix du travail des ouvriers frappeurs.

Le modèle exposé pesait en tout 3 600 kilogrammes environ, le marteau avec son manche environ 40 kilogrammes, et son coût, en Angleterre, était de 4 750 francs environ.

Martinets pilons divers. — On construit des marteaux pilons de dimensions fort petites, où la masse frappante ne pèse que 100 kilogrammes et même moins, et qui peuvent donner un grand nombre de coups par minute (MM. Massey, de Birmingham, en fabriquent de 25 kilogrammes battant 300 coups par minute, et coûtant 1 250 francs). Ces petits marteaux sont destinés aux ateliers de serrurerie ou de quincaillerie qui possèdent des chaudières à vapeur. Beaucoup de chefs d'industrie n'ayant point de chaudières à vapeur et

Digitized by Google

ne voulant pas en établir, ou bien possesseurs d'un moteur hydraulique, ou bien encore recevant d'un voisin la force motrice à l'aide d'une transmission, ne peuvent employer de marteaux pilons à vapeur, et cependant veulent profiter des avantages que présentent pour beaucoup de leurs travaux les petits marteaux à mouvement vertical. De là l'invention des outils dont je vais parler.

Deux fabricants parisiens, M. Deny et M. Cheret, exposaient en 1867 leurs *moutons à friction ;* dans ces appareils, la masse frappante ou mouton est suspendue à une courroie qui embrasse la moitié de la circonférence d'une poulie placée au-dessus ; quand on tend le brin libre de la courroie, le mouton est soulevé ; quand on lâche ce brin, le mouton retombe. Cet appareil est simple et commode pour certains travaux d'estampage et d'emboutissage, mais il ne peut servir à un forgeage proprement dit.

On emploie beaucoup des martinets pilons, actionnés par des cames, à la manière des flèches de bocard. M. Jean Schmerber, de Tagolsheim (Haut-Rhin), a imaginé une disposition ingénieuse et commode qui s'est fort répandue. Il exposait en 1867 les derniers perfectionnements de ses *martinets pilons à ressorts en caoutchouc* (1), dans lesquels les cames agissent non plus directement sur la masse du pilon, mais sur un ressort placé dans le corps du marteau ; de plus, pour empêcher l'ascension libre du marteau après l'action de la came et permettre de faire frapper le nombre de coups voulu, M. Schmerber applique encore au-dessus du pilon un ressort en caoutchouc. Les défauts que l'on reprochait à ces outils étaient le coût élevé de l'entretien, par suite de l'usure assez rapide des ressorts en caoutchouc, et la fragilité du corps de marteau, à cause du ressort qu'il contenait. Le motif de l'usure du caoutchouc se trouvait dans la composition même du ressort, composé originairement de rondelles alternatives de métal et de caoutchouc. Chaque

(1) Voir notice publiée par M. Schmerber en 1867.

Digitized by Google

compression provoquait un frottement sur les faces des rondelles, lesquelles s'échauffaient et s'usaient quand le travail était actif. M. Schmerber imagina donc un système de ressort sans frottement : au lieu de rondelles guidées par une tringle centrale, il employa des cylindres en caoutchouc emboîtés par leurs bouts dans des plaques à rebords arrondis, guidées dans le cylindre renfermant le ressort. De cette manière, le caoutchouc ne pouvant plus frotter, n'est plus sujet à usure et dure très-longtemps. Pour simplifier la forme du marteau que l'introduction d'un ressort intérieur rendait trop compliqué et trop fragile, M. Schmerber a imaginé de supprimer ce dernier et de faire agir la came directement sur le marteau, mais en interposant entre la bague à cames et l'arbre moteur des ressorts en caoutchouc qui amortissent le choc et remplacent celui qui est supprimé.

Les martinets de M. Schmerber sont très-employés pour l'étirage et l'estampage des fers, des essieux et pour le forgeage manufacturier de la ferronnerie ; on en trouve un grand nombre dans les usines françaises, et leurs avantages sont incontestables pour beaucoup de travaux. Ils présentent cependant le même inconvénient que les anciens martinets à queue : on peut régler la rapidité des coups, mais non leur force, ni leur levée.

En Angleterre, M. W.-D. Grimshaw a cherché à obtenir un martinet automatique, dont la force et la rapidité des coups puissent varier dans des limites assez étendues, afin de l'employer aussi bien pour le martelage de petits objets que pour l'estampage. Il y est arrivé en construisant un véritable *marteau à air comprimé* (1); le mouvement de rotation continu de l'arbre moteur sert seulement à faire mouvoir la pompe de compression qui alimente le réservoir à air comprimé. Cet outil a le défaut d'être compliqué et délicat.

Il existe d'autres marteaux auxquels on a donné le nom

(1) Voir *Revue universelle*, t. XIX, p. 356.

Digitized by Google

de *martinets pneumatiques*, mais dans lesquels l'air joue un rôle tout différent que dans le marteau Grimshaw ou dans d'autres analogues. L'air comprimé n'est plus le moteur du marteau ; on l'emploie seulement pour transformer le mouvement circulaire continu d'une manivelle dans le mouvement rectiligne vertical alternatif et intermittent d'un martinet pilon. Pour cela la tige du marteau est fixée à la tige d'un premier piston A qui se meut dans un cylindre vertical ouvert par en bas, et surmonté en haut d'un corps de pompe à air dans lequel travaille un piston à simple effet B, mû par la manivelle. Lorsque le piston B s'élève, il tend à faire le vide au-dessus de A, qui se soulève avec le marteau ; lorsqu'il change le sens de son mouvement, le marteau retombe. Diverses dispositions ont été imaginées pour permettre de régler la force des coups et la levée du marteau. On trouvera dans la *Revue universelle*, t. XVI, p. 581, la description de celles adoptées dans le *martinet pneumatique Walton*. On voyait dans la section suédoise, à l'Exposition de 1867, le *marteau pneumatique de MM. Lindahl et Runer* (de Gèfle) qui arrivait à ce résultat par des moyens différents. Un troisième piston C muni d'une courte tige creuse (de façon à laisser toujours en communication le cylindre et la pompe à air qui ne forment qu'une seule capacité M) peut monter et descendre dans un court cylindre intermédiaire entre la pompe à air et le cylindre du marteau, monter quand le piston A vient heurter sa tige en dessous, descendre quand le piston B vient heurter sa tige en dessus. Le piston intermédiaire C en montant découvre des orifices latéraux dans la paroi du cylindre qui font communiquer l'espace M avec l'atmosphère, de sorte que le piston A, appelé jusqu'alors en haut par l'aspiration du piston B, peut retomber par suite du poids du marteau. Puis le piston B, en redescendant, comprime l'air contenu dans l'espace M, de sorte que la chute de A est accélérée et par suite la force du coup augmentée. Un petit robinet met en communication directe l'espace M avec l'atmosphère ; lorsqu'il est ouvert, le marteau reste immobile, malgré le mouvement de la ma-

Digitized by Google

nivelle ; en l'ouvrant plus ou moins, on diminue ou augmente la force des coups. Dans ces marteaux pneumatiques, Walton, Lindahl et Runer ou autres, le nombre de coups par seconde est égal au nombre de révolutions de la manivelle et peut atteindre 300 ou 400 ; mais la puissance est toujours assez faible, et leur emploi est limité à quelques travaux de petite forge, d'estampage ou de perçage.

On voyait encore fonctionnant à l'Exposition de 1867 dans la section américaine, un autre système de martinet pilon, à savoir, le *marteau de MM. Shaw et Justice,* dont on trouvera des dessins et une description dans les tomes XXV et XXVI de la *Revue universelle.* Dans cet outil, la tête guidée du marteau est reliée à la bielle-manivelle par l'intermédiaire d'une chape en cuir et d'un ressort arqué en acier. Pendant l'ascension du bouton de manivelle depuis le point mort inférieur au point mort supérieur, le ressort arqué se tend d'abord avant de soulever le marteau à l'aide de la chape ; puis lorsque le bouton commence à redescendre, le ressort se détend et ajoute son effet à celui de la pesanteur pour lancer le marteau sur l'enclume. A l'état de repos, le masseton étant au bas de sa course, la panne du marteau ne doit pas toucher la table de l'enclume. Le nombre de coups est égal à celui des tours du disque manivelle, et on règle la vitesse de ce dernier par différents moyens, entre autres et le plus ordinairement par le simple emploi d'un frein agissant sur la jante du disque et d'un rouleau de tension agissant sur la courroie (1). Ces marteaux servent aux mêmes usages que les martinets Schmerber ; MM. Shaw et Justice en construisent depuis le poids de $4^k,53$ (10 livres) jusqu'à celui de 453 kilogrammes (1 000 livres) ; mais si les modèles courants (10 à 100 livres, par exemple) me paraissent commodes et avantageux pour de petits travaux d'étirage, de

(1) Ce marteau est naturellement à coup mort (*dead blow*) comme tous ceux dont je viens de parler. L'incompétence du traducteur employé par le représentant des constructeurs l'a fait baptiser sur les prospectus du nom pompeux et ridicule de *marteau à coup terrible.*

Digitized by Google

platinage, je crois que ceux de 1 000 livres, par exemple, dont la disposition est du reste compliquée par l'emploi d'un balancier, n'ont pas réellement de raison d'être. Le marteau de l'Exposition pesait 25 livres (11k,33), pouvait donner 400 à 500 coups par minute, avec une levée de 20 centimètres, et forgeait du fer de 5 centimètres d'épaisseur ; la force motrice pour ce modèle doit être, d'après les constructeurs, de 56 centièmes d'un cheval-vapeur.

TROISIÈME SECTION

Appareils divers.

Il serait très-long de passer en revue toutes les inventions ou tous les perfectionnements dont le matériel des forges a été l'objet depuis une vingtaine d'années, et je me contenterai de signaler seulement quelques appareils spéciaux.

Une *presse hydraulique à forger d'Haswell* figurait dans la section prussienne de l'Exposition de 1867, construite par M. Egells, de Berlin. J'ignore quels sont les véritables résultats pratiques de cet outil encombrant, connu depuis l'Exposition de 1862, et qu'on trouvera décrit dans l'ouvrage de Percy-Petitgand-Ronna, t. IV, p. 361 ; mais je ne puis en comprendre *à priori* les avantages, à moins qu'il ne s'agisse de l'emboutissage ou de l'estampage de plaques de fer ou d'acier doux, à froid ou en une seule chaude au rouge. L'action lente d'une presse implique un long contact de la panne de l'outil avec la pièce à forger, et par suite le refroidissement rapide de la surface extérieure de celle-ci, ce qui empêche tout véritable corroyage ou soudage de ses différentes parties. Si la presse est à action rapide, elle n'a plus d'avantages sur le marteau pilon. Il ne me paraît pas certain que, même pour un emboutissage à chaud, la presse Haswell vaille le marteau pilon ; à mesure que la saillie de l'outil pénètre lentement dans la matrice, le métal se refroidit et se glace, sa résistance augmente et bientôt on ne peut plus continuer ; il faut une chaude subséquente pour terminer. Je ne connais de presse à forger en fonction qu'à Sheffield chez MM. Cam-

Digitized by Google

mell et C°, où elle sert à fabriquer dans des matrices des essieux en acier ; mais j'ignore la valeur de son travail.

Les cisailles, et surtout les cisailles à tôles, ont reçu des perfectionnements considérables. On fabrique maintenant de puissantes cisailles à guillotine qui peuvent couper en travers d'un seul coup une tôle large de 2 mètres et épaisse de 20 millimètres, par exemple. Je signalerai celles que construit M. A. Dethombay, de Marcinelle, et dont plusieurs exemplaires se trouvent dans les usines à tôle de Couillet, de Hautmont, par exemple. On a imaginé des dispositions de supports qui permettent de retourner aisément de 90 degrés une grosse tôle, de façon à la rogner consécutivement sur ses quatre bords.

L'affranchissage des rails et des grands fers profilés a aussi donné naissance à des outils particuliers ou plutôt à des dispositions particulières de scies rotatives. Une des plus commodes est la *scie circulaire à bâti oscillant, système Bonehill*, employée aux forges de la Providence, par exemple, pour le recepage des grands fers à poutrelles. L'axe de la scie est porté par un bâti qui oscille comme un pendule autour de l'arbre moteur, de manière à ce que la lame avance à mesure que le trait de scie se fait dans la largeur du fer qui reste immobile.

Je ne dis rien des accessoires généraux des grandes usines qui ont profité de tous les progrès qu'a faits la mécanique dans ces dernières années.

CHAPITRE DEUXIÈME

FABRICATION DES FERS PROFILÉS ET DES RAILS.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur la fabrication.

Paquets et lingots. — Les barres profilées marchandes, ainsi que les rails, s'obtiennent toujours, comme on sait,

Digitized by Google

par le soudage et l'étirage de paquets composés de mises parallèles, à moins que la matière première ne soit de l'acier fondu, auquel cas on opère sur des lingots. Le paquetage est une sujétion dont on a essayé, à diverses reprises, de se libérer : M. Menelaus, de l'usine de Dowlais, a fait, ces dernières années, un essai dont les résultats figuraient à l'Exposition. Il a fabriqué des rails vignoles en les obtenant d'une seule boule puddlée pesant environ 200 kilogrammes et sortant de ses fours mécaniques ; mais j'ai déjà dit plus haut que cet essai n'avait pas réussi dans la pratique courante.

Les paquets pour fers marchands ne présentent pas, dans leur confection, de particularité nouvelle digne d'être signalée; on les compose toujours de fer brut mélangé de fer corroyé dans une proportion qui dépend de la difficulté des profils à obtenir.

Les paquets pour rails varient à l'infini dans leur forme, dans leurs dimensions, dans la disposition des mises et dans la nature du métal qui les composent. J'indiquerai quelques détails sur leur confection, mais en m'en tenant au point de vue spécial du fabricant, et sans entrer sur le domaine de l'ingénieur de chemins de fer.

Les paquets les plus simples sont ceux tout en fer puddlé brut disposés par mises d'égale épaisseur. Ils peuvent donner des rails d'une qualité supérieure, c'est-à-dire d'une très-grande durée en service, si le fer est de nature convenable et si la fabrication a été bien conduite. J'ai vu fabriquer aux forges de Burbach (près Saarbruck), pour les chemins de fer allemands, des rails qui ont donné de bons résultats avec des paquets de cette nature. Les mises étaient relativement minces (12 à 15 millimètres) ; il n'y avait pas de couvertures et on s'arrangeait seulement pour qu'il n'y eût pas de joint transversal dans les assises inférieure et supérieure du paquet. On classait les fers en plaçant les plus jeunes, ou fers à grains, pour former le champignon, les fers nerveux au milieu du paquet, et le fer métis dans les intervalles. Dans les paquets pour rails vignoles, on était seulement obligé de placer deux barres de fer corroyé nerveux pour

Digitized by Google

former les ailes du patin. Le fer brut provenait de fonte blanche coulée en lingotières, et les loupes étaient cinglées au marteau pilon. Le directeur de l'usine s'attachait surtout, avec grande raison, à obtenir des rails parfaitement soudés.

Il est, en effet, très-rare qu'un rail en service périsse par rupture ; c'est un accident qui tient alors à ce que le fer a été brûlé au réchauffage à un certain point de sa fabrication. Les rails provenant de paquets périssent toujours par le désoudage des mises qui se manifeste par des exfoliations ; si le soudage est parfait et complet, le rail s'use graduellement et peut durer très-longtemps. Aussi l'important est d'avoir des rails bien soudés. Trop souvent les compagnies, pour éviter les ruptures, exigent des essais au mouton très-sévères ; pour y résister, les fabricants sont forcés d'employer des fers corroyés plus ou moins fibreux, de les chauffer modérément et de fabriquer ainsi des rails mal soudés. Ces essais sévères sur la résistance transversale au choc ne servent réellement pas à grand'chose, car les rails qui cassent en service proviennent d'accidents de fabrication dont une surveillance attentive peut diminuer le nombre, mais qu'aucun essai ne peut empêcher. On ne peut songer, du reste, à essayer tous les rails d'une commande.

A *Monceau-sur-Sambre*, en Belgique, on fabriquait en 1865 aussi des rails tout en fer puddlé. Les paquets de 1^{m},15 de longueur, et 210 sur 195 millimètres de section, ont seulement aux deux angles correspondant aux ailes du patin deux corroyés provenant de bouts de rails aplatis. Les mises supérieures sont en fer tendre à gros grain provenant d'un puddlage sur sole toute en scories ; l'âme du rail est faite avec des fers provenant de fonte un peu meilleure puddlée sur sole en scories avec autel en castine ; le patin en fers métis ou fers forts puddlés sur sole en crasse avec les cordons en castine. Le paquet pèse 273 kilogrammes, sur lesquels il n'y a que 25 kilogrammes de corroyé.

A *Ruhrort*, en Westphalie, la Société du Phénix a fait aussi de grandes quantités de rails en fers puddlés provenant de fonte grise fabriquée avec des minerais passablement phos-

Digitized by Google

phoreux. La couverte pour le champignon était faite en fer brut ayant subi un demi-ballage : la loupe, au sortir du four, est d'abord cinglée au pilon, puis martelée de façon à la mettre sous forme d'un prisme de 10 sur 15 centimètres ; alors on la réchauffe au rouge cerise seulement, et on la lamine à la dimension de la couverture. Il y a seulement deux mises verticales de corroyé aux angles pour faire les ailes du patin.

A *Steele*, en Westphalie, la Société Neu-Schottland fait à peu près de même. La couverte est aussi en fer puddlé ; la loupe est cinglée (quelquefois on en soude deux ensemble), puis laminée en larget épais. Dans ce larget on coupe deux couvertes qu'on réchauffe au rouge cerise et qu'on bat au pilon pour les amener à la dimension juste. C'est encore un demi-ballage.

Dans le nord de l'Angleterre (groupe du Cleveland), on fabrique toujours de cette façon. Le fer brut y provient des fontes phosphoreuses du pays, et est lui-même assez phosphoreux. On cherche à avoir le moins possible de joints à souder dans le paquet, et on n'y met point de fer nerveux. Les fabricants admettent que le fer se soude mieux quand il est encore grenu et brut que lorsqu'il a été corroyé et est devenu nerveux, et ils ont certainement raison. La présence du phosphore dans le fer paraît du reste faciliter le soudage et donne de la dureté à la surface de roulement. Mais ces rails en fer brut, quoique mieux soudés, ne peuvent supporter les essais au choc et à la flexion que supportent des rails plus corroyés et moins bien soudés.

Les chemins de fer français ont essayé quelques lots de rails en fer puddlé brut qu'on distinguait sous le nom de *rails martelés*, parce que le paquet est fortement battu au pilon et réduit déjà dans ses dimensions transversales avant qu'on le passe aux cylindres. Les essais ont porté sur des rails fabriqués, soit avec des paquets tout en barres brutes ordinaires, soit avec des paquets munis de couvertes martelées comme au Phénix ou à Steele. Les résultats de quelques essais n'ont pas été favorables, sans doute par suite de quel-

Digitized by Google

que vice de fabrication imprévu ou inaperçu, peut-être parce qu'on ne s'est pas assez inspiré de l'expérience des Allemands et des Anglais. L'adoption presque générale des rails en acier fondu a empêché qu'on continuât à s'occuper de cette question.

Les *paquets composés de partie fer brut et partie fer corroyé* sont les plus employés en France et dans le pays de Galles (Angleterre). Le corps du paquet se fait en fer brut ; la couverte supérieure en fer corroyé grenu ; la couverte inférieure en fer corroyé nerveux, quand il s'agit de rails à patin. La couverte supérieure grenue doit être d'un seul morceau dans la longueur et la largeur du paquet, afin d'éviter des défauts de soudure ; elle est destinée, comme on sait, à donner de la dureté pour résister au frottement de la roue. Le fer corroyé nerveux qui doit former le patin et les ailes du patin, est destiné surtout à empêcher ces parties de criquer au laminage. Les mises de fer brut voisines du corroyé grenu doivent être grenues, et celles voisines du corroyé nerveux en fer brut métis ou nerveux, afin d'augmenter les chances de bon soudage en mettant en contact les surfaces les plus analogues possible. Aussi le classement des fers bruts a une grande importance dans une fabrique de rails. Ainsi que je l'ai déjà dit et que je ne saurais trop le répéter, le point important est d'obtenir un soudage aussi parfait que possible des différentes mises entre elles et surtout de la couverte corroyée avec le corps du paquet. Le soudage du fer corroyé au fer brut est difficile. On a employé aux forges de Styring-Wendel, dans une fabrication pour la Compagnie du chemin de fer du Nord, un tour de main particulier pour assurer mieux le soudage de la couverte supérieure. Celle-ci est faite avec un paquet de fer brut ordinaire à grains, laminé de façon que les joints soudés soient verticaux dans le larget fini, et que chacune de ses mises puisse venir au contact de la première mise horizontale du paquet. On espère qu'ainsi il y aura toujours au moins quelques-unes de ces mises verticales de la couverte qui souderont avec la mise horizontale du paquet. Mais s'il

Digitized by Google

se trouve des soudures verticales défectueuses au bord du champignon, celui-ci peut être échancré, ce qui amène des chances de déraillement. J'ignore ce que l'usage prolongé fera conclure au sujet de cette pratique, mais je doute qu'elle ait en fin de compte une grande efficacité.

Quant aux dimensions transversales du paquet, à l'épaisseur de la couverte, au nombre des mises horizontales, on doit avoir surtout en vue, en les déterminant, de faciliter le bon soudage. Les couvertes corroyées trop épaisses se soudent mal. Les mises minces augmentent le nombre des surfaces à souder, ainsi que le déchet au four. En Angleterre, on fait souvent des paquets en slabs pilonnés épais, afin de diminuer le nombre des joints.

On fait aussi des *paquets partie en fer brut et partie en acier puddlé.*

A Friedrich-Wilhelmhuette (Prusse), j'ai vu fabriquer des rails à patin, dont le paquet formé à la manière ordinaire, avait pour couverte une plaque d'acier puddlé épaisse de 6 centimètres forgée au pilon. On obtenait des rails avec une cassure fort belle, à grain fin et uniforme pour la tête, à nerf long et soyeux pour le patin. L'acier puddlé et le fer brut provenaient des mêmes fontes.

A Ruhrort, dans l'usine du Phénix, j'ai vu fabriquer des rails avec un paquet composé d'une plaque pour le champignon et de onze mises de fer brut, avec les deux angles du patin en acier doux. La plaque était fabriquée au moyen d'un paquet de 30/21 en quinze mises ; chaque mise étant d'un côté acier puddlé et de l'autre fer. Ce paquet était réduit au pilon en un prisme de 14/19 qu'on réchauffait au rouge cerise pour le laminer en une plaque de 21/7, dont le dessus se trouvait en acier et le dessous en fer, les deux métaux étant enchevêtrés et soudés dans le milieu de l'épaisseur de la plaque. En analysant ce procédé, on voit que tout y est fait en vue du soudage de l'acier et du fer, toujours difficile à obtenir à cause de la différence des températures nécessaires.

Dans les *paquets en fer et acier fondu* (bessemer ou autre)

Digitized by Google

la difficulté est toujours la même. En Angleterre, on dit l'avoir résolue en faisant des couvertes à rebord en acier qui emprisonnent la tige du rail après le laminage. Aux États-Unis, au contraire, on emprisonne une mise carrée d'acier au milieu du paquet en fer, selon le procédé de MM. Sam. Potter et Ward, qui figurait à l'Exposition de 1867 ; mais je ne saurais me prononcer sur la valeur de ces deux procédés de fabrication pour rails mixtes : celle du second me paraît bien douteuse.

Les rails qui se fabriquent avec des *lingots* peuvent être en acier fondu Bessemer, Martin, au creuset ou de toute autre provenance. L'acier doit avoir une certaine dureté, mais sans être trop cassant. On fait les lingots le plus souvent rectangulaires ou carrés avec les angles abattus. On a aussi essayé, à l'usine d'Impley, de faire des lingots ronds dans des lingotières tournantes qui permettent d'avoir beaucoup moins de soufflures, et même pas du tout. Mais il me paraît réellement peu rationnel de tirer un rail vignole, par exemple, d'un lingot carré ou rond, puisqu'on n'a pas à se préoccuper du soudage qui oblige à employer les paquets à mises parallèles quand il s'agit du fer. Il serait bien préférable d'employer des lingots d'une forme se rapprochant davantage de celle de la barre à obtenir, et je crois qu'une usine française est déjà entrée dans cette voie.

Serrage et laminage. — J'ai dit plus haut combien est grande l'importance d'un bon soudage ; aussi, pour une fabrication irréprochable, les paquets devraient toujours être serrés au marteau pilon au sortir du four à souder. Si on emploie les cannelures soudantes des cylindres blooming, c'est par raison d'économie. Je ne reviendrai pas sur les détails que j'ai donnés à propos des laminoirs sur le soudage et le dégrossissage des barres ; ils s'appliquent aux fers spéciaux comme aux rails.

Le tracé des cannelures dégrossisseuses ou finisseuses pour fers profilés était naguère, et est encore, dans bien des usines, laissé à l'expérience pratique et routinière des maîtres tourneurs de cylindres. Tel ou tel de ceux-ci, en Belgique

Digitized by Google

ou en Westphalie, par exemple, est une autorité que les directeurs d'usine viennent consulter d'assez loin, et s'est créé une position brillante en indiquant les formes et dimensions des cannelures nécessaires pour obtenir tels ou tels profils de rails ou de poutrelles. La question est, en effet, importante : une mauvaise combinaison de cannelures, et même quelques millimètres seulement en trop ou en moins sur certains rayons de cylindres, peuvent entraîner des rebuts considérables dans une commande de rails, par exemple, rebuts qu'un changement insignifiant en apparence permettra quelquefois d'éviter. Une usine qui a de bons tracés pour les fers spéciaux pourra fabriquer avantageusement des profils qui sont ruineux pour un autre ; si elle possède un homme expérimenté sur cette question, elle pourra créer des formes impossibles pour une usine moins bien dirigée. En ce qui concerne les rails, les administrateurs ou directeurs des grandes usines, qui traitent avec les compagnies ou les entrepreneurs de chemins de fer, économiseraient souvent des frais considérables en se faisant assister, dans certains cas, par des spécialistes ; on a vu, en effet, des administrateurs apporter à leurs usines des commandes de rails pour l'étranger avec des profils qui entraînaient forcément à des rebuts assez considérables, tandis qu'avec une modification presque insensible à l'œil, dans l'épaisseur ou dans la largeur de certaines parties de la section du rail, modification aisée à faire accepter pendant les négociations, la fabrication fût devenue facile et économique relativement. Depuis quelques années, l'étude du tracé des cannelures n'est plus abandonnée uniquement aux tourneurs de cylindres et est entrée dans le domaine des ingénieurs, au moins dans un certain nombre d'usines : les ingénieurs allemands surtout s'en sont emparés et y ont fait des progrès notables. Les belles études de M. Tresca sur l'écoulement des solides peuvent apporter un puissant concours à ceux qui voudront élucider cette question du laminage en cannelures.

On a vu plus haut comment MM. Petin-Gaudet ont appliqué le principe du laminoir universel au finissage de certains

Digitized by Google

profils de fers (poutrelles, fers à croix). MM. Marrel et Cᵉ, de Rive-de-Gier, fabriquent également des fers à I au laminoir universel pour les grandes dimensions, ou au train à tôle pour les petites, avec des paquets spéciaux formés de mises ordinaires et de couvertes en fers à E, et au moyen d'une seule cannelure dont les pressions seules peuvent varier. L'exposition de MM. Petin-Gaudet et Cᵉ en 1867 présentait un certain nombre de fers à I de grandes dimensions (jusqu'à 1 mètre de hauteur) obtenus avec leur laminoir universel spécial : les barres des grands profils étaient celles-là même qui avaient servi aux premières épreuves de laminage, aussi avaient-elles une certaine courbure à laquelle on aura certainement remédié depuis.

La Société des forges de Châtillon et Commentry, dans le but probable d'éclipser les fers à I de MM. Petin-Gaudet et Cᵉ, avait envoyé à l'Exposition deux fers à I de 1ᵐ,10 de hauteur, 30 centimètres de largeur d'ailes (dont l'un cintré à dessein, disait le catalogue, au sortir du laminoir sur une courbe de 50 mètres de rayon), et d'une longueur de 3ᵐ,75 et 4 mètres. Ces fers présentaient des profils plus purs au bord des ailes que ceux de MM. Petin-Gaudet et Cᵉ (le procédé employé par ceux-ci donne, en effet, quelquefois des fers criqués aux bords des ailes, qui ne sont pas bien soutenus pendant le laminage) ; mais leur longueur était trop faible pour qu'ils pussent être de quelque utilité. Leur procédé de fabrication ne permettait guère, en effet, l'obtention de grandes longueurs ; il consistait à souder au laminoir, par le passage dans une seule cannelure les poutrelles composites obtenues par la juxtaposition d'éléments à sections bien moindres, comme une feuille de tôle pour l'âme, et un profil spécial ou deux cornières pour chaque patin. On ne pourrait pas pratiquement manœuvrer des paquets de plus de 4 mètres de long ; aussi je crois que ce procédé offre peu de chances d'avenir. Il rappelait, du reste, beaucoup le procédé employé en 1862 par la compagnie des usines de Butterley pour fabriquer des pièces qui excitèrent la curiosité de tous les connaisseurs à l'Exposition de Londres.

Digitized by Google

Ces pièces étaient : 1° une poutre de pont pour le vaisseau *Achilles* de la marine anglaise, ayant 16 mètres de longueur au moins, avec 40 centimètres de hauteur au milieu, 16 centimètres de largeur d'ailes, et 12 millimètres d'épaisseur, poutre dont le patin supérieur est droit et le patin inférieur courbé en arc de cercle, l'âme ayant une hauteur moindre au milieu qu'aux deux extrémités; 2° un échantillon de poutre de rive en I pour pont, ayant 915 centimètres de hauteur et 305 centimètres de largeur d'ailes, longue de $2^m,82$ et pouvant atteindre 9 à 18 mètres ; 3° d'autres plus petites comme profils, par exemple 400 millimètres de hauteur, 156 millimètres de largeur d'ailes et 18 mètres de longueur. Elles étaient aussi formées de pièces séparées, âme et patins, soudées par un procédé spécial, celui de M. Bartram, maître forgeron à Woolwich, qui consiste à placer les bords, à les réunir l'un contre l'autre, à les chauffer à l'aide de deux flammes de chalumeau dirigées en sens inverse contre les deux côtés du métal, et à les souder ensuite avec quelques coups de marteau. Je ne sais pas exactement ce que ce système de fabrication de poutres en fer est devenu en Angleterre depuis 1862, mais l'absence de tout produit de cette nature à l'Exposition de 1867 permet de croire qu'il a été abandonné. Il en est de même des grandes poutrelles soudées au laminoir de la Société de Châtillon-Commentry.

Je n'ai pas partagé du reste l'admiration que quelques visiteurs de l'Exposition éprouvaient pour des poutrelles très-hautes, longues et par conséquent d'un poids très-grand. Il est certain que pour ceux qui ne descendent pas dans les détails de la fabrication, il y a lieu de se demander comment il est possible de mouvoir, de chauffer et de travailler des masses aussi imposantes ; il est naturel que l'on se dise alors : un problème difficile a été résolu, un tour de force a été accompli. Mais, pour celui qui songerait à utiliser de tels produits, le point principal consisterait à savoir ce qu'ils valent et ce qu'ils coûtent. Des ingénieurs très-habiles admettent qu'on a tort d'employer dans les constructions des éléments dont on ne saurait contrôler l'état dans toutes

Digitized by Google

leurs parties : il y a des exemples de ponts de grandes portées où l'on n'a pas admis d'épaisseurs supérieures à 15 millimètres ; car, au-dessus de cette épaisseur, le soudage est incertain. Or, dans la fabrication de poutrelles de dimensions énormes, et en laissant même de côté les questions pratiques du laminage, qui ont bien leur importance, mais qu'on arrive à résoudre avec de gros engins et des machines monstrueuses, il est un point qui n'est pas illimité, c'est le soudage dans un four à réchauffer de grosses masses de fer à laminer.

Un paquet de fer destiné au laminage doit être également chaud dans toutes ses parties ; le degré de température est bien connu de l'ouvrier qui a étudié comment son fer se comporte au feu, et son art consiste à présenter successivement à la flamme les surfaces à souder en ayant soin de les soustraire avant que les dégradations arrivent, c'est-à-dire que tout paquet qui ne pourra pas être manié dans un four par le chauffeur, qui ne pourra pas être retourné, est condamné d'avance à être mal chauffé : si le paquet est long, comme il arrivera pour les poutrelles de grandes longueurs, un bout sera déjà brûlé, quand l'autre bout ne sera pas encore soudé. Tel est l'obstacle qu'il sera toujours bien difficile de surmonter. Le constructeur qui sait que lors même qu'à force de chaudes et de déchets, on sera parvenu à produire une fois avec du fer choisi et avec des soins exceptionnels un bel échantillon d'une poutrelle très-haute, très-longue et très-lourde, n'osera pas employer dans la pratique des masses aussi importantes, dont il ne pourra contrôler la structure intérieure qui *à priori* sera toujours suspecte. D'ailleurs, au point de vue économique, de grandes poutres composées d'éléments assemblés et rivés coûteront toujours moins cher que ces masses produites dans des conditions onéreuses. On pourra établir avec des fers plats et des cornières rivées, et du fer sur lequel des épreuves de traction certaines pourront être faites, des poutres composées à meilleur compte que ces énormes poutrelles laminées ou soudées.

Digitized by Google

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

FRANCE. — Je citerai en première ligne les produits des *forges de MM. Dupont et Dreyfus, à Ars-sur-Moselle*, qui occupaient une place d'honneur à l'entrée de l'Exposition, et qui la méritaient. Ces forges ont fait leur spécialité des fers profilés, et leur album, contenant cinq cent trente-sept types spéciaux (en 1867), est le plus riche parmi ceux analogues : la pureté des profils et la netteté des surfaces obtenues font le plus grand honneur à l'ingénieur chargé du tracé des cannelures dans ces usines. J'ai remarqué dans cette exposition : 1° un gros fer *rond* de 200 millimètres de diamètre, et $5^m,25$ de longueur ; 2° un *large plat* très-épais pour quille de navire de 250 × 75, et 8 mètres de longueur ; 3° deux fers *plats très-larges* avec les limites *minima* et *maxima* d'épaisseur usitées dans les constructions (660 × 30, et 8 mètres de long, 660 × 7, et $10^m,50$ de long) ; leur fabrication est difficile, surtout à cause du dressage immédiat après le laminage, car ils ne sortent pas droits des cylindres. Puis venaient les *fers octogones*, employés pour tiges et tampons de wagons, les *demi-ronds* et les *plates-bandes*, la série des *cornières égales* et *inégales* (parmi lesquelles une égale de 160 millimètres d'ailes, et une inégale de 250/90, dont le laminage est fort difficile), les *fers à T simple*, *moulures*, *fers à vitrages*, qui demandent aussi une grande expérience, et les *fers à double T*. Parmi les fers à T simple est classé le fer faîtière livré pour la construction du grand phare français à l'Exposition. Parmi les fers à I, je citerai ceux *très-larges ailes*, depuis 80 jusqu'à 300 millimètres de hauteur (par exemple, 298 millimètres de hauteur avec 148 millimètres de largeur d'ailes), qui demandent une attention très-soignée pour arriver aux angles vifs et aux ailes symétriques. Ces fers, qui offrent tant d'avantages, vu leur grande résistance par rapport à leur poids, ne sont demandés que pour les constructions vraiment étudiées ;

Digitized by Google

leur usage se répandrait certainement davantage si les connaissances de résistance des matériaux étaient plus vulgarisées ; c'est dans ces fers qu'il entre le plus de fer corroyé, aussi leur prix est-il plus élevé que celui des fers à I ordinaires. Les *fers à triple T* servent à donner des planchers peu sonores. Puis venaient encore les *fers à boudin* employés par la marine pour barrots de gaillard ; pendant longtemps, la base de ces fers se formait avec des cornières rivées ; on est parvenu maintenant à laminer des *fers à boudin et à patin* supprimant le rivetage. Ces fers sont parmi les plus remarquables exposés par MM. Dupont et Dreyfus ; il y en avait d'une longueur de 14 mètres environ (160 millimètres de largeur au patin), au centre des bases de leur portique, extraits d'une commande importante pour la compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée. MM. Dupont et Dreyfus, ne pouvant placer horizontalement dans l'espace à eux réservé des barres de plus de 8 mètres, avaient eu l'idée de dresser les longues barres dans un portique vertical. Enfin, il faudrait encore citer les *fers à* U, les *fers à vasistas*, les *éclisses*, les *petits rails*, les *fers à croix*, les *bandages*, les *fers à couteaux*, à *listel*, etc., pour compléter la liste des types exposés. L'album de la maison fournit aux constructeurs une série de tableaux numériques indiquant les charges que peuvent supporter les divers types de poutrelles pour une série de portées comprises entre 2 et 8 mètres.

L'*usine du Creusot* exposait un gros rond laminé (L. = 12^{m},65, D = 15 centimètres, P = 1 730 kilogrammes), ainsi qu'une série des profils de son album, dont quelques-uns peuvent être obtenus en fers de plusieurs qualités. *MM. Harel et Ce*, de Pont-Évêque, la Compagnie des *usines de Terrenoire, Lavoulte et Bessèges*, n'avaient rien de bien saillant comme fers spéciaux ; cependant, pour cette dernière, il faut citer une poutrelle de 25 centimètres de hauteur (L = 8^{m},50, P = 450 kilogrammes), une cornière de 120 × 180 (L = 8^{m},50, P = 400 kilogrammes) en acier Bessemer doux, ainsi que des cassures de cornières en fer de plusieurs qualités. *MM. Petin-Gaudet et Ce* montraient des cornières en fer et en acier

Digitized by Google

fondu, des fers à barrots simples, des fers à barrots et à T pour la marine, des fers en U pour longrines et traverses de wagons de chemins de fer, puis les grands fers à double T dont nous avons parlé précédemment : les deux échantillons extrêmes de la série étaient :

Longueur : 32 mètres.	Hauteur : 0,280.	Poids : 1350 kil.
Longueur : 10 —	Hauteur : 1,000.	Poids : 2475 —

La *Société des forges de Châtillon et Commentry* tient un des premiers rangs pour la fabrication des fers spéciaux ; sans parler des poutrelles de 1m,10 signalées plus haut, elle a la première mis en fabrication courante pour la construction des docks-entrepôts de Marseille de grands fers à I de 50 centimètres de hauteur. Elle exposait une barre de 22 centimètres de hauteur, double T larges ailes, de 24 mètres de longueur, deux barres de double T ordinaire, aussi de 22 centimètres, ayant l'une 33m,50, et l'autre 29 mètres de longueur ; une barre de fer I de 500 millimètres et 10 mètres de longueur pesant 1 440 kilogrammes, une autre de 300 et 16 mètres de long pesant 990 kilogrammes, une cornière de 90 × 90 longue de 28 mètres, une autre de 75 × 75, longue de 42 mètres, un fer à T simple de 90 × 45, long de 18 mètres et quelques larges plats comme :

1m,000 × 0,037.	Longueur 17 mètres (longeron pour locomotive).
0 ,405 × 0,0165	— 23 —
0 ,800 × 0,013	— 15

Elle possède un album très-complet et bien composé.

La *Société des fonderies et forges de Franche-Comté* fabrique des fers spéciaux divers parmi lesquels il faut citer les fers bien connus dits *fers Zorès* et les traverses métalliques, système Vautherin, qui ont la forme d'un fer Zorès tronqué, très-évasé, avec 260 millimètres d'empattement. Les *forges d'Anzin et de Denain* exposaient des fers profilés divers, surtout des poutrelles, remarquables par la pureté de leurs contours, témoignant de la perfection du tracé des cannelures ; elles se servent du grand train trijumeau dit *trio Tala-*

Digitized by Google

bot dont j'ai parlé plus haut. Les *forges de la Providence* à Hautmont exposaient diverses sections de fers spéciaux et deux colonnes torses en 2 fers à T tordus ensemble pour montrer la qualité du métal. Les *forges du Nord* à Maubeuge avaient aussi quelques fers marchands. Les *forges d'Abainville*, seules avec MM. Dupont-Dreyfus d'Ars, exposaient des fers ronds de 20 centimètres. Les *forges de la Villette-Paris*, à M. Lagoutte, fabriquent des fers spéciaux avec des riblons de l'industrie parisienne.

Un grand nombre d'usines françaises fabriquent des rails; l'une des plus importantes sous ce point de vue, celle de Styring-Wendel, s'était abstenue en 1867. La fabrication des rails en fer était représentée par le Creusot, les forges de Châtillon et Commentry, celles de Denain et Anzin, les forges de Terrenoire, celles de la Providence, de Maubeuge, de Franche-Comté et d'Aubin. On pouvait remarquer les cassures de rails et ébauches de rails exposées par l'usine d'Aubin, par celle de Saint-Jacques de Montluçon, un rail Vignole tordu à froid en hélice sans criquer exposé par cette dernière, les belles cassures et les nombreux profils de rails Vignole et à double champignon, d'éclisses, coussinets-éclisses et plaques de joint exposés par le Creusot.

Les usines de Saint-Chamond (Petin-Gaudet et Ce) d'Imphy (Jackson et Ce), de Terrenoire, de Montluçon exposaient des rails en acier Bessemer; celles de Sireuil et de Firminy (Verdié et Ce) des rails en acier Martin. L'usine d'Imphy avait une belle collection de profils divers, savoir : des rails à double champignon, types Ouest, Nord, Midi, Creusot, Orléans, Lyon, des rails rectangulaires types Orléans et Midi, un rail Brunel type Lyon, un rail à champignons inégaux, type Victor-Emmanuel, un rail à patin non symétrique type Lyon, un autre à patin unilatéral type Nord, et un rail Vignole type Nord, parmi lesquels on en remarquait de 10 mètres de longueur. Quelques usines exposaient des rails d'acier Bessemer tordus à froid en tire-bouchon pour montrer leur ductilité et leur homogénéité.

La Compagnie de Terrenoire a communiqué au public, pen-

Digitized by Google

dant l'Exposition, quelques données intéressantes sur la résistance de ses rails de fer et d'acier Bessemer. Voici d'abord des résultats d'épreuve à la presse hydraulique, le rail étant soumis à la flexion sur deux points d'appui espacés de 1 mètre :

	Pression supportée sans flèche permanente.	Pression de rupture.
Rail fer double champignon.	12 000 kil.	34 000 kil.
Rail fer Vignole.	12 000 —	33 000 —
Rail acier double champignon (Lyon).	20 000 —	48 000 —
— — (Ouest).	25 000 —	50 000 —
— — (Orléans).	22 000 —	48 000 —
Rail acier Vignole patin incliné (Lyon).	20 000 —	55 000 —
Rail acier Vignole (Nord)	20 000 —	52 000 —
— (Est)	20 000 —	43 000 —

Voici maintenant le résultat de l'épreuve au choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant librement sur le rail posé sur deux appuis distants de 1^{m},10, l'enclume étant de 10 000 kilogrammes :

	Hauteur de chute à la rupture.
Rail fer double champignon.	4^{m},50
— Vignole	4
Rail acier double champignon (Ouest).	4
— — (Lyon)	4
— — (Orléans)	4
Rail acier Vignole patin incliné (Lyon)	5 ,50
Rail acier Vignole (Nord).	4 ,50
— (Est).	4

La même compagnie exposait des rails trempés très-énergiquement pour montrer ce qui est possible sous ce rapport.

Indiquons encore en terminant les fers marchands laminés, avec dessins en relief (à l'aide de cylindres gravés) fabriqués par MM. Marrel, Bouché et Bouillet, de Saint-Chamond, et qui s'appliquent avantageusement à certains travaux de serrurerie d'ornement.

Grande-Bretagne. — La section anglaise n'était pas très-riche en exposition de fers profilés ou de rails. Je puis seulement citer : les *forges de Round-Oak* (Dudley, dans le South Staffordshire) qui montraient des rails Vignole pour

Digitized by Google

l'Australie, et des rails à double champignon en fer du Staffordshire ; les *forges de Lilleshall* (Shropshire), *celles de Cwm-Avon* (pays de Galles), avec quelques fers marchands ; l'*usine de Blænavon* (pays de Galles), avec une assez complète collection de rails, cornières, poutrelles, plaques de joint, etc. La grande *usine de Dowlais* exposait quelques produits intéressants qui montraient la puissance de son outillage ; sans parler des rails Vignole provenant d'une seule loupe puddlée, je citerai un large plat laminé en cannelures (380 × 16 millimètres, longueur 12 mètres), un fer à boudin pour châssis de pont du Persia (250 × 50 millimètres et 15 mètres de long), des cornières de 150 × 125 × 25 jusqu'à 15 mètres de longueur, des fers à U de 200 × 113 jusqu'à 12 mètres de longueur, un rail à double champignon avec couvertes en acier Bessemer. Je ne dis rien des fers marchands ordinaires exposés par MM. Moore et Manby, de Dudley, la compagnie d'Ystalifera (Galles) et d'autres.

La grande aciérie de Barrow (*Barrow Hematite Steel Company*), ainsi que MM. John Brown et Ce (*Atlas Works*), de Sheffield exposaient des rails en acier Bessemer.

Belgique. — La section belge comprenait de nombreux spécimens de fers marchands et de rails. Je citerai, pour les fers marchands ordinaires ou profilés, de dimensions moyennes, ceux de *MM. A. Gallez et Ce*, au Châtelet ; de *M. Constant Bonehill*, à Monceau-sur-Sambre ; des *forges de Zone* et de *MM. Bonehill frères*, à Marchiennes-au-Pont ; de *MM. G. Dumont et Ce*, à Châtelineau ; de *M. J. Goffin*, aux forges de Clabecq ; les cassures de tous ces fers fabriqués dans le groupe de Charleroi indiquaient une belle qualité du métal.

*MM. Victor Gillieaux et Ce*, de Charleroi, fabriquent au laminoir universel, le premier établi en Belgique, des larges plats de différentes épaisseurs, et de 15 à 60 centimètres de largeur. Ils exposaient ceux destinés aux arches de 150 et de 57 mètres du pont de Culembourg, près Utrecht, entrepris par M. Harkort ; ces fers n'avaient rompu à l'essai que sous des charges supérieures à 40 kilogrammes par millimètre

Digitized by Google

carré. Ils fabriquent aussi des larges plats striés ou quadrillés destinés aux trottoirs, dallages d'usine, de mine, etc., et plus économiques que la fonte. Les *forges du Centre belge*, à la Louvière, exposaient aussi un produit du laminoir universel, savoir : un longeron ou large plat de $10^m \times 0^m,60 \times 0^m,009$. La *Société des hauts fourneaux et laminoirs de Montigny-sur-Sambre* avait envoyé une collection très-remarquable dans laquelle nous avons remarqué des fers spéciaux pour cages d'extraction, des fers à moulures pour encadrements et portes en fer laminé, des traverses de chemins de fer, système Vautherin, des traverses pour petites voies en fer à U.

La fabrication belge des gros fers de construction était représentée par *MM. de Dorlodot*, de Châtelineau; la *Société de Marcinelle et Couillet*, la *Société des usines de Châtelineau*. Quant aux rails que la Belgique fournit en si grande quantité à tous les chemins de fer du continent, on en trouvait à l'Exposition diverses collections venant des *usines de Seraing*, de celles de Thy-le-Château, à *MM. Blondiaux et Cᵉ*; de celles de *Montigny*, de *Couillet*, de *Châtelineau*, du *laminoir Dorlodot*, à Châtelineau. Cette dernière usine mérite une mention spéciale à cause de la puissance et du perfectionnement de son outillage ; avec deux trains (dont un trio) pour rails, poutrelles et gros fers conduits par une machine pyramidale à action directe de 120 chevaux et munis de releveurs mécaniques à vapeur, elle peut produire annuellement 45 000 tonnes de rails ou poutrelles. A *Monceau-sur-Sambre* on a fabriqué pour les chemins de fer de l'État beaucoup de rails, tout en fer brut. Une seule usine belge, celle de Seraing, est en mesure de produire des rails en acier Bessemer.

Allemagne et Autriche. — L'usine de Hoerde, *Hermannshuette*, doit être indiquée au premier rang parmi les forges allemandes en ce qui concerne la fabrication des fers profilés ; son habile directeur, M. Daelen, a acquis une réputation européenne pour le laminage, et nombre de maîtres de forges étrangers sont allés étudier à Hoerde ses procédés et ses appareils. Elle exposait en 1867 cinquante-trois types de

Digitized by Google

fers façonnés remarquables, parmi lesquels je citerai : une poutrelle double T de 40 centimètres de hauteur, des cornières ordinaires, à rebords, à tranches arrondies, etc., jusqu'à 15 centimètres de côté, des fers à gouttières de 10 centimètres de côté, des bandages destinés à s'accrocher au moyen de rebords profilés contre la jante des roues, enfin un rail en acier Bessemer long de 13m,80, et d'autres rails à champignon d'acier, avec l'âme et le patin en fer très-nerveux. Depuis cette date, j'ai vu fabriquer à Hoerde des traverses en fer pour les chemins de fer du Nassau d'un profil remarquable. Le plus grand laminoir de Hoerde en 1868 était un laminoir universel à trois cylindres, sans équilibrage ; le cylindre inférieur et celui supérieur étaient portés par les vis que met en mouvement un arbre vertical avec deux longs pignons, arbre commandé au moyen d'un engrenage conique par une petite machine souterraine à deux cylindres ; les cylindres verticaux se trouvaient à l'entrée du passage entre les deux cylindres supérieurs horizontaux. La cage était munie d'un releveur bilatéral du système Borsig avec le cylindre à vapeur installé en haut dans l'axe des colonnes. Cet équipage était conduit par une machine de 1 000 chevaux faisant 80 tours, à deux cylindres, l'un horizontal, l'autre vertical, accouplés à 90 degrés l'un de l'autre sur la même manivelle. Il servait à laminer des traverses de chemins de fer en acier Bessemer. Hermanns-Huette exposait aussi en 1867 les modèles en bois de plusieurs systèmes de construction de voie avec longrines en fer laminé.

La *Société du Phénix métallurgique* obtient aussi des produits remarquables dans ses usines de Laar, près Ruhrort et d'Eschweiler-Aue. Elle avait à l'Exposition des fers spéciaux supérieurement laminés, surtout des cornières et des fers à gouttière. Les rails étaient de plusieurs sortes : les uns avec le bourrelet d'acier puddlé, le corps et le patin en fer fort nerveux, d'autres avec le bourrelet et le corps en acier puddlé, le patin seulement en fer fort, d'autres tout en acier puddlé avec le bourrelet trempé, d'autres encore *cémentés trempés*, dont l'extérieur présentait un grain fin d'acier, tan-

Digitized by Google

dis que le cœur avait conservé le grain de fer : on trouvait aussi des éclisses en acier trempé.

L'*usine de Burbach*, près Saarbruck, qui s'occupe spécialement de la fabrication des fers profilés, exposait une belle série de fers à barreaux, de fers d'angle à côtés égaux et inégaux, de fers à T, de poutrelles, de fers à E à côtés perpendiculaires et à côtés ouverts. J'y ai remarqué surtout une longrine trapézoïdale à nervure médiane et une poutrelle de 40 centimètres de hauteur et 14 mètres de long. Cette usine est une de celles où on lamine le mieux.

Parmi les autres usines westphaliennes, *Neunkirchen* exposait des larges plats avec bords assez purs sans criques, de 5 millimètres d'épaisseur (40 centimètres de largeur et 15 mètres de long, 25 centimètres de largeur et 17^{m},50 de longueur), ainsi que des rails ; *Rothe-Erde*, près Aix-la-Chapelle, des rails, des fers spéciaux, entre autres des cornières très-minces (45 millimètres de côté et 2 millimètres d'épaisseur) ; *Heinrichshuette*, près Hattingen, des rails et des fers spéciaux divers. En Silésie, *Konigshuette* seule exposait des rails ordinaires, en acier Bessemer.

L'Autriche ne possède pas beaucoup de fabriques de fers profilés ; *M. Fr. Mayr*, de Leoben, et *le comte de Donnersmarck*, de Wolfsberg, seuls semblaient fabriquer en 1867 des produits de cette nature. Quant aux rails, on en fabriquait en fer chez le comte de Donnersmarck à Hugohutte et à l'usine nouvelle qu'il a établie dans un faubourg de Vienne, en fer avec tête en acier puddlé à l'Anina, usine de la Société des chemins de fer autrichiens, en acier Bessemer et en fer avec tête en Bessemer, chez M. de Rothschild, à Wittkowitz, en Moravie.

Pays divers. — En Suède, l'usine de *Motala* seule exposait une assez belle série de fers profilés, puddlés à la houille ; celle de *Finspong* fabrique cependant des rails et des fers profilés, mais en petite quantité ; celles de *Stora-Kopparberg*, de *Hellefors*, de *Kloster* exposaient quelques rails, et celle de *Nyby* quelques fers profilés.

L'exposition russe ne présentait pas de fers spéciaux. En

Digitized by Google

Italie, j'ai seulement aperçu quelques fers octogones et profilés fabriqués par *MM. Rubini et Scalini*, de Dongo. L'Espagne possède une usine dont l'exposition était intéressante, celle de *la Felguera* à MM. Duro et Ce ; on y trouvait des cornières de 12^m^,50, des poutrelles de 8^m^,25, des rails Vignole de 6^m^,70. *MM. Ibarra et Ce*, de Baracaldo, exposaient aussi des poutrelles de 12 centimètres.

CHAPITRE TROISIÈME

FABRICATION DES TOLES ET DES FERS-BLANCS.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur la fabrication.

Toles diverses. — Après les considérations que j'ai déjà exposées à propos des laminoirs, il me reste peu de chose à dire pour ce qui concerne la fabrication des tôles grosses ou moyennes. L'obtention de feuilles grandes et épaisses ne dépend guère que des facilités qu'on a pour manœuvrer des paquets lourds et des dimensions des fours à réchauffer et à rallonger. L'Exposition de 1867 présentait, comme je l'indiquerai, beaucoup de spécimens remarquables de fabrication, soit en fer, soit en acier. Outre les tôles planes ordinaires, on fabrique depuis quelques années des *tôles striées* portant en relief des saillies rectilignes plus ou moins hautes disposées suivant des lignes diagonales (formant des losanges en creux) ou suivant des lignes d'équerre (formant un véritable quadrillage). Ces tôles striées sont fort commodes pour le parquetage des plates-formes de locomotive, de wagon, des balcons, des chambres de machine, des seuils de porte ; et leur fabrication, au moyen de cylindres dont l'un est gravé, exige seulement un fer suffisamment plastique.

Les *tôles cannelées* ou *ondulées* à grandes, moyennes ou petites ondes, si employées maintenant pour les couvertures de hangars et les constructions de ponts, se fabriquent avec des cylindres finisseurs de forme correspondante et sans

Digitized by Google

difficultés sérieuses si le fer est de nature à se laisser travailler à faible chaleur.

Parmi les tôles minces, il faut signaler les *tôles fines polies* que fabrique la Belgique, et les *tôles lustrées* qui viennent de Russie. Ces dernières présentent des particularités intéressantes et peu connues dans leur fabrication, sur laquelle j'ai pu obtenir quelques détails en 1867, grâce à l'obligeance d'un ingénieur russe, M. Koulibine. On sait que leur magnifique poli que la rouille attaque rarement n'a pu être imité encore par aucune des tôleries françaises ou anglaises ; les Belges seuls s'en sont rapprochés sans l'atteindre cependant.

On les fabrique avec du fer au charbon de bois, obtenu au feu d'affinerie, que l'on met sous forme de largets (balvanky) ayant 1 pouce (25 millimètres) d'épaisseur, et un poids plus ou moins considérable. On réchauffe au rouge cerise ces largets, et on les lamine en feuilles. On découpe une de ces feuilles en morceaux correspondant au poids des tôles qu'on veut obtenir, on superpose les morceaux et on continue à les laminer ensemble jusqu'à ce qu'on ait suffisamment aminci. On obtient ainsi les *tôles noires*. Pour les transformer en tôles lustrées, on en réchauffe un certain nombre au rouge, et on les superpose en les saupoudrant dans chaque intervalle d'une poudre noire impalpable, qui n'est autre que du charbon de bois ; on forme le fond et la couverture du paquet de tôles à lustrer avec deux tôles plus épaisses. Puis on martèle ce paquet de façon à amincir toutes les feuilles sous un premier marteau à soulèvement, dont la tête pèse 1 000 à 1 100 kilogrammes. Pour polir et lustrer, on martèle ensuite les tôles presque froides sous un second marteau à panne large, arrondie sur les bords, pesant aussi 1 000 à 1 100 kilogrammes. Ensuite, on les laisse refroidir complétement, on les rogne et on les classe en trois choix, suivant la perfection de leur poli : les tôles de premier choix doivent être comme un miroir sans une tache sur leur surface. On comprend aisément l'action du charbon pulvérulent projeté sur les surfaces rouges et enfermé entre elles à l'abri de l'air ; il les cémente et leur permet ainsi d'acquérir

Digitized by Google

un beau poli, tout en les rendant moins attaquables à la rouille ; une fois cette cémentation opérée, la tôle ne doit plus passer au four à réchauffer. Le poli parfait et la résistance de la surface à l'action de la rouille expliquent l'usage que les Russes font de ces tôles qui servent surtout à couvrir les toitures.

Les forges au bois de la Franche-Comté, et surtout celles d'Audincourt, livrent à l'industrie parisienne des tôles fines dites *tôles décapées*, qui sont fort recherchées à cause de leur grande douceur, qui permet de les emboutir et de les plier sous les plus petits rayons pour la fabrication d'articles de Paris fort petits et très-ouvragés (fermoirs de porte-monnaie, par exemple). Ces tôles, en sortant du laminoir, sont rognées, puis introduites dans un bain chaud d'acide sulfurique étendu ; elles y restent un quart d'heure, puis sont frottées au sable pour enlever toute trace d'oxyde, plongées dans un lait de chaux pour neutraliser l'acide sulfurique, séchées à l'étuve, puis recuites en boîtes. Elles présentent de très-beaux effets d'irisation depuis les bords jusqu'au centre qui est d'un beau blanc : elles doivent être très-malléables et susceptibles d'un beau poli.

On fabrique aussi des tôles excessivement fines par le passage au laminoir d'un grand nombre de feuilles superposées. On est arrivé à des résultats réellement surprenants, sous ce rapport, surtout avec une matière très-homogène et très-douce comme certains aciers Bessemer de Styrie. Une fabrique autrichienne, celle de Jean Adolphe, exposait des feuilles d'acier Bessemer n'ayant que 1/3000 de pouce soit $0^{mm},009$ d'épaisseur. Ces *tôles-papier* ont servi à quelques exposants à fabriquer des livres en reliant ensemble un grand nombre de feuilles, ou à préparer des tableaux où étaient calligraphiés les noms des principaux employés des usines.

Les *tôles d'acier* ont pris une grande extension. Fabriquées avec des aciers doux, elles supportent admirablement l'emboutissage et le repoussé au marteau, et se prêtent à l'obtention d'ustensiles et d'ornements d'un genre tout nouveau.

Digitized by Google

Avec des épaisseurs plus grandes, elles fournissent d'excellentes tôles pour la construction des navires et des ponts; tout le monde a remarqué le pont, en tôle Bessemer, sous lequel il fallait passer pour se rendre de l'Exposition au bord de la Seine. L'avenir des tôles d'aciers est certainement très-considérable; il importe seulement que les fabricants se préoccupent suffisamment du degré de carburation et de la douceur de leur produit brut, et ils n'ont pour cela qu'à suivre l'exemple des Suédois et des Styriens en employant le procédé Eggertz pour le dosage du carbone.

FERS-BLANCS ET PRODUITS ANALOGUES. — Les *fers-blancs brillants* (à couverte d'étain pur) et les *fers-blancs ternes* (à couverte d'étain allié de plomb) tiennent toujours une place importante dans l'industrie. Plus nouvelles venues, les *tôles plombées* ont déjà gagné beaucoup de terrain, surtout depuis l'invention d'un procédé qui en rend la fabrication plus aisée et plus économique.

Dans le *procédé Girard*, on opère l'étamage en immergeant la feuille de tôle, préalablement décapée convenablement, dans le bain métallique que contient une large cuve rectangulaire en fonte, divisée en deux transversalement par une cloison qui ne plonge que de quelques centimètres au-dessous de la surface du métal. Du côté où l'on fait entrer la feuille, le bain est recouvert d'une couche de chlorure de zinc qui est un agent décapant très-énergique, et qui de plus préserve la surface du bain de l'oxydation. De l'autre côté de la cloison se trouvent deux cylindres de fonte, à table unie tournant lentement, entre lesquels la feuille passe en se débarrassant de l'excès de métal; la génératrice de contact étant immergée dans le bain. Au sortir du cylindre, la feuille traverse une couche superficielle de résine ou colophane qu joue le même rôle que le suif dans la fabrication ordinaire, mais qui a l'avantage de ne pas rester adhérente à la feuille, ce qui dispense de tout nettoyage. Je ne puis m'étendre ici plus longuement sur ce procédé, qui le mériterait cependant. Il est appliqué surtout pour les tôles plombées et les fers-blancs ternes, quoique

Digitized by Google

l'inventeur le propose également pour les fers-blancs brillants.

On pouvait le voir fonctionner en 1867 dans une des annexes de l'Exposition. C'est à notre connaissance le premier essai heureux de perfectionnement à l'antique méthode de fabrication des fers-blancs.

Les *tôles plombées* s'emploient spécialement au lieu et place du zinc laminé, pour les couvertures au lieu du fer; blanc pour les chéneaux, faîtages, tuyaux de descente, etc.

On fabrique aussi des *tôles zinguées* ou *galvanisées*, soit planes, soit ondulées; mais ces tôles ne peuvent être travaillées comme les tôles plombées ou étamées, à cause de la perte de malléabilité qu'elles doivent à l'alliage du zinc. Elles résistent mieux, dit-on, que les précédentes à l'action de l'air humide, parce que l'action galvanique du zinc empêche l'oxydation de commencer même sur les points où la couche superficielle peut être enlevée; le plomb et l'étain ne protégent que la partie qu'ils recouvrent. Les *tôles zinguées* s'obtiennent, soit par l'immersion dans un bain de zinc fondu, soit à froid par la voie galvanique.

On voyait à l'Exposition des *tôles plombées moirées* présentant des dessins fort curieux; elles sont obtenues par les usines de Montataire et par celles de Commentry, sans trempage dans l'acide et au moyen d'un alliage de zinc et de plomb qui produit ces cristallisations superficielles.

Il se produit dans l'étamage un véritable alliage de fer et d'étain, de fer et de plomb; les plus hautes températures sont impuissantes pour le décomposer. En traitant au feu d'affinerie des rognures de fer-blanc, alors même qu'on les a débarrassées de l'étain ou du plomb par l'action d'un acide, on n'obtient jamais qu'un fer de mauvaise qualité. C'est pourquoi les rognures de fer-blanc sont presque sans valeur. Des industriels de Vienne (Autriche), MM. Edouard et Charles Kuhn, prétendaient, à l'Exposition, avoir réussi à fabriquer couramment avec des déchets de fer-blanc, de l'étain pur, du bon fer soudable, de l'ammoniaque, du bleu de Prusse et quelques autres sous-produits, en réalisant des bénéfices

Digitized by Google

considérables. Je n'ai pas été à même de vérifier l'exactitude de ces allégations.

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

FRANCE. — Beaucoup d'usines françaises exposaient des tôles grosses, moyennes et minces. Le *Creusot* fabrique de grosses tôles (de 3 millimètres d'épaisseur et au-dessus), des tôles moyennes de constructions (1 millimètre et demi à 2 millimètres trois quart d'épaisseur) des tôles de commerce moyennes et minces, des tôles à tuyaux, et exposait des spécimens de tôles travaillées faites avec des fers bruts des six classes dont j'ai parlé plus haut; il y avait notamment des exemples très-remarquables d'emboutissage dans des tôles de 800 millimètres de diamètre et 8 millimètres d'épaisseur; comme exemple de laminage, on voyait une tôle de 13,55 × 1,06 épaisse de 14 millimètres et pesant 1 570 kilogrammes. Les *forges de Commentry* exposaient des tôles à chaudières, des tôles moyennes de construction, des tôles de commerce, des tôles décapées, des tôles lisses et lustrées pour tuyaux et poêlerie fine, des tôles ondulées et cannelées, des tôles minces et extraminces ; j'ai remarqué surtout : une tôle extramince de 3 mètres × 1 mètre épaisse de $0^m,00012$ et pesant 3 kilogrammes, un fond de chaudière de $2^m,05$ de diamètre, une tôle striée non rognée (dégrossie au train universel et finie au train à tôles) de $6^m,55$ de longueur avec saillies de 3 millimètres, une feuille de 4 mètres × $1^m,80$ et 14 millimètres d'épaisseur, une autre de 6 mètres × $1^m,05$ et 1 millimètre d'épaisseur, sans parler de 10 feuilles de fers noirs extraminces sur lesquelles étaient inscrits les noms du personnel de la compagnie. Dans le hangar-annexe spécial se trouvait un modèle de la fontaine de Médicis exécuté en fers et tôles et comprenant des bas-reliefs et écussons en tôle repoussée au marteau et témoignant de son excellente qualité; au milieu, on voyait un guéridon en fer dont la table était formée d'une tôle

Digitized by Google

forgée, plissée et ondulée sur tout son contour, recouverte d'un timbre et de vases en tôle emboutie, sur pieds en fers noués. *MM. Petin, Gaudet et C*e avaient une tôle de fer de 19m,20 × 1m,55 et 13 millimètres d'épaisseur (deux tôles de cette dimension suffiraient à la construction d'une chaudière de 19 mètres de longueur sur 1 mètre de diamètre, sans que les deux lignes de rivets suivant les génératrices fussent baignées par les flammes), un disque en tôle de fer de 2m,255 de diamètre et 22 millimètres d'épaisseur, des tôles d'acier fondu pesant 1 600 et 1 680 kilogrammes avec un spécimen d'emboutissage d'une d'elles par M. Chevalier Laurent, constructeur à Lyon.

L'*usine de Montataire* fabrique aussi des tôles de construction et de commerce, et des tôles minces, ainsi que des tôles striées. Les *forges d'Anzin et Denain* exposaient des tôles puddlées ou tôles à chaudières, des tôles qualité fer fort et des tôles qualité tôle au bois avec des spécimens de travaux d'emboutissage ; un casque, une base de cheminée, une forme à sucre en tôle fer fort (40 francs les 100 kilogrammes) ; une base moins compliquée en tôle mixte (32 francs), un fonds de chaudière et des cuissards en tôle chaudières (28 francs). Les *usines de Terrenoire, Lavoulte et Bessèges* fabriquent des tôles d'acier et des tôles de plusieurs qualités de fer. La *compagnie des forges d'Audincourt* exposait des tôles en fer au charbon de bois, par exemple : des fers noirs décapés (325 × 244 et un dixième à un vingtième de millimètre d'épaisseur), une tôle ronde de 2m,22 de diamètre et 18 millimètres d'épaisseur, avec des spécimens remarquables d'emboutissage. *Mme veuve Chavane* (manufacture de Bains) ; *M. V. de Pruines* (forges de Semouse); *MM. Campionnet et C*e (de Gueugnon) ; *MM. Cailletet et C*e (de Châtillon-sur-Seine) et *MM. Menans et C*e (forges de Franche-Comté), présentaient aussi des tôles fines en fer au bois.

Les tôles de Champagne et des Ardennes, bien connues dans le commerce, étaient représentées par *MM. Petit Drumaux*, de Charleville (forges de Saint-Charles et de la Cachette) qui exposaient des tôles douces glacées; *MM. Boutmy père,*

Digitized by Google

*fils et C*e, de Messempré-Carignan (forges de Bazeilles), qui fabriquent des tôles puddlées et des tôles mixtes; *M. de Bonnecaze* (forges de Froncles); *MM. E. Muaux et C*e (laminoirs de Flize), qui font des tôles puddlées au coke et au bois. Les *forges du Nord*, à Maubeuge, exposaient des tôles striées.

Parmi les fabricants de produits étamés, zingués, plombés, il faut citer la *compagnie des forges d'Audincourt*, dont les fers blancs brillants au bois ont une réputation traditionnelle; elle exposait des fers blancs, brillants et ternes, en caisses, des feuilles de grande dimension, et des tôles plombées par le procédé Girard. La *compagnie des forges de Franche-Comté* fabrique des fers blancs supérieurs marqués *Bourg* et des fers blancs ordinaires marqués *Grenade; MM. Campionnet et C*e, de Gueugnon (Saône-et-Loire), exposaient aussi des fers blancs. Une des collections les plus remarquables était celle des *forges de Commentry*, comprenant des tôles ondulées, plombées, grandes et petites ondes, des tôles zinguées, planes et ondulées, des tôles étamées, des fers blancs brillants et ternes en caisses (parmi lesquels du clinquant remarquable par sa douceur, telle que les sœurs de Saint-Vincent-de-Paul en avaient confectionné pour l'exposition des fleurs artificielles). L'*usine de Montataire* exposait ses tôles plombées, cannelées et ondulées, ses fers blancs cristallisés, etc.

Grande-Bretagne.—La section anglaise n'était pas très-riche en tôles, malgré l'importance de cette fabrication de l'autre côté du détroit. On voyait des tôles assez ordinaires parmi les produits des usines de Round Oak, près Dudley et de Regent près Bilston (Staffordshire), et de Lilleshall (Shropshire); celles de Lowmoor, de Bowling et de Monkbridge soutenaient la réputation du Yorkshire. *MM. Everitt et fils*, de Birmingham, exposaient des tôles noires décapées et des fers noirs extra-minces (par exemple, une feuille de $0^m,187 \times 0^m,394$, pesant 10 grammes et un quart, et une autre de $0^m,152 \times 0^m,143$, pesant $1^g,08$, qui étaient les feuilles les plus minces en fer que j'aie vues à l'Exposition). Le Cleveland était représenté par les tôles du laminoir de Newport,

Digitized by Google

(MM. Fox, Head et C°), classées en tôles dures (résistance . 36 kilogrammes et demi par millimètre carré en travers, 47 kilogrammes et un quart par millimètre carré dans le sens du laminage) et tôles ductiles (résistance : 31 kilogrammes et demi par millimètre carré en travers, 35 kilogrammes en long). M. John Dixon exposait aussi des tôles de Cleveland BB garanties pour une résistance de 34 kilogrammes et demi au moins par millimètre carré, cotées depuis 250 francs la tonne et indiquées comme employées couramment par la marine royale pour la construction des navires.

L'*usine du West Cumberland*, à Workington, fabrique d'excellentes tôles d'hématite dont la résistance, dans divers essais, a varié depuis 37k,8 à 47k,25 par millimètre carré. *MM. Burys et C°*, de Sheffield, seuls exposaient des tôles d'acier.

Les fers blancs les plus remarquables étaient exposés par l'*étamerie de Melyn*, à Neath (MM. Leach, Flower et C°), qui fabrique elle-même ses largets et ses tôles avec d'excellentes fontes de la forêt de Dean affinées au charbon de bois : les fers blancs qui en proviennent s'emboutissent très-bien à froid. *MM. Morewood et Rodgers*, de Stratford, qui sont inventeurs de plusieurs procédés d'étamage, exposaient des fers blancs brillants et ternes et des tôles galvanisées. *MM. Beard et fils*, de Bilston, fabriquent des tôles ondulées, étamées et zinguées, parmi lesquelles ils en exposaient présentant le moirage par cristallisation dont j'ai déjà parlé. Les fers blancs du pays de Galles étaient représentés par ceux de l'*usine d'Ystalifera* (fontes à l'anthracite affinées au charbon de bois ou au coke) et de l'*usine de Cwm Avon*.

Belgique. — Les tôles fines de fer polies et non polies de la province de Liége réunissent à la qualité l'avantage du bon marché. Aussi sont-elles exportées sur tous les marchés de l'Europe et de l'Amérique. Cette industrie est très-ancienne sur les bords de l'Ourthe et du Hoyoux. Elle était déjà très-prospère avant l'invention des laminoirs, à l'époque où le battage au marteau était le seul procédé qui y fût appliqué. *M. F. Sillyé-Pauwels* (usine à Régissa, près Huy) avait l'ex-

Digitized by Google

position la plus remarquable, comprenant : des tôles polies au bois pour l'emboutissage (par exemple, 4 mètres × 1m,26 et 1 millimètre et demi d'épaisseur ; poids, 11k,700), des tôles polies au bois non recuites (parmi lesquelles une de 2 mètres × 1 mètre, épaisse de 1/10 et pesant 0k,780), des tôles polies au coke, des tôles ordinaires au bois et des tôles en bessemer. *M. Delloye-Mathieu*, d'Huy, *MM. Raikem, Verdbois et Ce*, de Liége, avaient des produits analogues, cotés 37 francs les 100 kilogrammes pour les tôles lustrées en fer au coke.

Les grandes usines du pays de Liége, comme *Ougrée* et *l'Espérance*, exposaient des grosses tôles ; *MM. Jowa et Ce*, à Liége, fabriquent des tôles cannelées et ondulées, galvanisées ; ils exposaient un tablier de pont en tôle ondulée de forte épaisseur, des traverses de chemins de fer. Dans le district de Charleroi on fabrique des tôles à Couillet, aux forges de Zone, chez MM. Victor Gilliaux et Ce, au laminoir du Centre belge (à la Louvière). Les forges de Clabecq (à M. J. Goffin) aussi exposaient une grande tôle de chaudière (6,170 × 1,425 × 0,0145 pesant, 1 040 kilogrammes) et des tôles de poêlerie.

L'*usine de l'Espérance* seule exposait des fers blancs.

Prusse et Allemagne du Nord. — L'*usine de Dillingen*, sur la Saar, qui fabrique annuellement environ 16 000 tonnes de tôles de toutes natures, avait une exposition remarquable de grosses tôles, de tôles ondulées, noires, étamées, plombées, de tôles minces polies (dont une de 3,000×1,400×0,0007), de tôles décapées et de fers blancs brillants et ternes. Une autre usine westphalienne, celle de *Germania*, près Neuwied (M. L. Buderus), lui fait une sérieuse concurrence : elle exposait des fers noirs ondulés (0,70 × 2,20), des fers zingués (0,75 × 1,60) et des fers blancs. A Essen, *MM. Schulz, Knaudt et Ce* fabriquent aussi des tôles dont ils présentaient de beaux spécimens d'emboutissage et qu'ils livrent au commerce toutes décapées d'après les gabarits désirés. *MM. Harkort et Gravemann*, à Wetter, fabriquent des tôles d'acier puddlé, d'acier fondu et de fers de diverses qualités.

Digitized by Google

La maison *Dresler*, de Siegen, produit dans son laminoir de Geisweid annuellement 2500 tonnes de tôles supérieures et en exposait de très-minces, d'une dimension atteignant 1m,25 sur 2m,80. *Henrichshuette*, près Hattingen, fait aussi des tôles.

La Silésie n'avait envoyé que quelques spécimens insignifiants, fabriqués à *Laurahuette*, usine du comte de Donnersmark.

MM. Gienanth frères fabriquent à Trippstadt (Bavière rhénane) des tôles au bois pour fer blanc, cotées 52 francs les 100 kilogrammes, et des tôles ondulées.

Suède et Norwége. — On fabrique en Suède des tôles de fer à Motala, à Hellefors, à Surahammar, à Nyby, à Kloster, à Hallstahammar, etc., des tôles d'acier Bessemer à Kloster et à Hallstahammar. Ces dernières présentent une qualité tout à fait remarquable : on cite l'exemple des tôles de l'avant d'un steamer qui a donné à pleine vitesse contre un rocher, en s'emboutissant sans crever.

Les tôles de fer suédoises se vendent de 400 à 500 francs la tonne.

En Norwége la société de Krogstad, à Drammen, fabrique des tôles douces.

Russie. — Les plus belles tôles exposées étaient celles des usines de *Nijni-Taguil* et d'*Alapaev*, appartenant à la catégorie des tôles lustrées dont j'ai parlé précédemment. Nijni-Taguil fabrique non-seulement des tôles en fer affiné au charbon de bois (2,15 × 1,40 sur 25 à 5 millimètres d'épaisseur, cotées 68 francs les 100 kilogrammes environ), des tôles extra plus minces (jusqu'à 5m,10 de longueur, cotées de 175 à 200 francs les 100 kilogrammes), mais encore des tôles fortes et minces en fer puddlé. Les forges de la marine impériale, à *Ijora*, exposaient des tôles de fer, et celles de *Votkinsk* des tôles d'acier fondu. Les usines de *Nijnetoura* et de *Kyschtyme* (gouvernement de Perm) exposaient des tôles au bois fines mates (61 francs les 100 kilogrammes) ou fines parées (68 francs les 100 kilogrammes) et des tôles extra-fines (158 francs les 100 kilogrammes);

Digitized by Google

celle *d'Alexandrovk* (gouvernement de Perm), des tôles provenant de fonte au coke puddlée.

Mme Rasteriaeff, de Saint-Pétersbourg, seule exposait des fers blancs.

AUTRICHE-HONGRIE. — Les produits autrichiens les plus remarquables dans la catégorie qui nous occupe étaient les feuilles extra-minces d'acier Bessemer styrien doux exposées par l'usine de *Johann-Adolph-Huette*, près Judenburg (Styrie), et présentant moins d'un centième de millimètre d'épaisseur, puisque, d'après M. Tunner, il en fallait 3 000 pour former une épaisseur de 1 pouce. Ces feuilles si délicates, fabriquées avec de l'acier Bessemer de l'usine de Murau (prince de Schwarzenberg), servent à la fabrication des harmonicas, des boutons et des tamis. Johann-Adolph-Huette exposait aussi des tôles d'acier minces, moins impalpables, avec lesquelles elle fabrique des vases et des ustensiles de cuisine emboutis fort remarquables, de même que des cuillers grandes et petites. L'*usine impériale de Neuberg* avait aussi une exposition très-intéressante de tôles d'acier Bessemer et d'objets emboutis obtenus avec ces tôles, ainsi que de grosses tôles pour bateaux et chaudières (ces dernières cotées de 46 à 60 francs les 100 kilogrammes). *M. Franz Mayr*, à Leoben, *M. le comte de Meran*, à Kremz, près Gratz, *la compagnie d'Eibiswald*, *la compagnie des chemins de fer du Sud*, à Gratz, fabriquent aussi des tôles d'acier fondu.

L'*usine de Prevali*, en Carinthie, celles de *Lilienfeld*, d'*Eibiswald*, de *Kremz*, de *Leoben* (Franz Mayr), en Styrie, celles d'*Haczasel*, de l'*Anina* (compagnie des chemins de fer de l'Etat), en Hongrie, fabriquent et exposaient des tôles en fer affiné et en fer puddlé.

L'*usine de Teschen* (archiduc Albert), en Silésie, celle de *Janowitz*, celle de *Johann-Adolph-Huette* exposaient des fers blancs; on remarquait aussi les produits étamés et galvanisés de la *compagnie de Wœllersdorf*, près Neustadt-les-Vienne, et les fers blancs étamés avec réserves de l'*usine de Neudek*, près Carlsbad (appartenant au baron de Kleist), fabriquant

Digitized by Google

annuellement 1 900 tonnes de fers blancs, de tôles noires et de fer en barres.

ITALIE. — *MM. Rubini et Scalini*, propriétaires des forges de Dongo, exposaient des tôles puddlées, minces, lustrées, non rognées, assez belles. *M. Bozza*, de Piombino, exposait des tôles d'acier Bessemer.

ESPAGNE, ÉTATS-UNIS, ETC. — Pas de tôles exposées.

CHAPITRE QUATRIÈME

FABRICATION DES PIÈCES DE FORGE ET BLINDAGES.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur les procédés.

La fabrication des grosses pièces de forge a fait des progrès considérables depuis quelques années ; un des plus remarquables se trouve dans la construction des canons en fer forgé. Les premiers essais datent de loin : en 1849, MM. Petin et Gaudet fabriquèrent, sur la demande de l'artillerie, sept bouches à feu en fer forgé en masse sous le marteau pilon au moyen d'un paquet de forme ordinaire. Les forges d'Audincourt, la même année, envoyèrent à l'exposition de l'industrie deux canons fabriqués au moyen de loupes soudées au sortir du feu comtois, de façon qu'il n'y avait aucun plan de clivage dans la masse de fer. Mais, si le soudage était meilleur, les fibres du métal n'en étaient pas mieux disposées que dans le système des paquets, et la pièce pouvait aussi présenter de ces fissures intérieures qui se manifestent souvent dans les gros forgeages, par suite de l'inégalité du chauffage et du refroidissement de la masse.

Vers 1855, M. Nasmyth, en Angleterre, et MM. Ward et C°, aux États-Unis, essayèrent encore sans succès des canons forgés en masse ; l'éclatement du *Peacemaker*, à bord du navire *Princeton*, fit prononcer la condamnation des canons en fer par toutes les autorités compétentes et autres. Cependant M. Clay, des forges de la Mersey, à Liverpool, n'était

Digitized by Google

point de cet avis, et il entreprit, en 1856, la fabrication d'un canon monstre, baptisé du nom de *canon Horsfall;* c'est une masse de fer forgé que l'on a forée pour y creuser l'âme; les tourillons sont fixés à une frette rapportée. Ce canon fut essayé à outrance à Portsmouth; mais, malgré les bons résultats fournis, il resta plusieurs années abandonné sur le rivage. Les artilleurs n'étaient pas favorables aux canons en fer, et il fallut les résultats obtenus par M. Armstrong pour faire sortir de l'oubli le canon Horsfall. Cette pièce, du reste, doit sa réussite bien plus à la bonne qualité de la matière et à l'habileté de la main-d'œuvre qu'au système de forgeage adopté.

Les *canons Armstrong* peuvent être considérés comme le type de la construction en fer forgé; après divers tâtonnements de l'inventeur, ils sont devenus une application réussie des études théoriques du docteur Hart et de M. R. Mallet. Leur âme est formée par un tube en fer enroulé en hélice, comme dans les canons de fusil à rubans, et soigneusement soudé et forgé; ce tube est renforcé extérieurement par d'autres tubes ou manchons fabriqués de la même manière, mis en place à chaud, et dont le nombre est plus ou moins grand suivant les calibres. La pièce se trouve ainsi composée d'une série de couches concentriques en fer, se frettant les unes les autres de façon à prendre les tensions initiales convenables, l'épaisseur de chaque couche étant d'environ 5 centimètres. Depuis ces dernières années le tube intérieur des canons Armstrong, au lieu d'être fait en fer enroulé et soudé, est fait en acier doux étiré par le procédé Deakin et Johnson, dont je parlerai plus loin.

D'après la théorie, plus les tubes concentriques sont minces et multipliés, plus le canon approche de la perfection; mais en pratique on rencontre des difficultés considérables dans le règlement des dimensions et dans le soudage de ces nombreuses pièces. Après bien des essais on est arrivé, à l'arsenal de Woolwich, à simplifier et à perfectionner en même temps la construction, par un procédé dit *système Fraser*. Au lieu de ne faire que de courtes viroles en fer de Lowmoor

Digitized by Google

enroulé qu'on a ensuite à souder bout à bout, M. Fraser fait de gros enroulements en fer du Staffordshire à forte section ; il place, l'une dans l'autre, deux et quelquefois trois de ces hélices, en ayant soin que les sens d'enroulement des spires alternent. Il place cette grosse trousse tubulaire dans un four à réchauffer, où il la porte au blanc soudant ; puis il soude au pilon, et il a ainsi d'une seule pièce un épais manchon qu'il fixe ensuite avec le degré de serrage suffisant sur le tube en acier doux, forgé plein et foré, qu'il adopte pour âme de ses canons. Les canons Fraser, grâce à la masse des manchons, sont moins sujets que ceux du système Armstrong à se dégrader par l'action de chocs extérieurs violents.

Le travail du fer forgé en grandes masses présentait des difficultés considérables d'installation et de manœuvres; maintenant, depuis l'invention des marteaux pilons, avec des dispositions convenables de fours et de grues, on arrive à élaborer les forgeages les plus lourds. Mais il faut une grande habileté pratique pour les réussir complétement; un forgeron inexpérimenté ou un chauffeur négligent peut faire manquer aisément une pièce, même facile à exécuter. Je ne puis ici entrer dans le sujet des changements moléculaires qui se produisent et des tensions intérieures qui se manifestent dans une masse de fer en forgeage; il m'entraînerait trop loin.

Les forges de la Mersey, à Liverpool, grâce au concours de MM. R. Mallet et Clay, étaient arrivées en 1862 à fabriquer des pièces fort remarquables, telles que des pots de presse hydraulique, des canons, des arbres de machines marines à deux ou trois coudes. L'Exposition de 1867 a prouvé que la France possédait des forgerons qui ne le cédaient en rien à ceux de Liverpool : les produits de MM. Marrel frères occupaient le premier rang parmi ceux du même genre.

On a découvert il y a quelques années une propriété remarquable de certains fers, qu'on peut appeler la *trempe du fer doux*. Lorsqu'une pièce de forge est fabriquée avec un fer doux, de bonne qualité, ne contenant que des traces de carbone, on améliore beaucoup sa ténacité en la trempant au rose dans l'eau froide; après cette opération la

Digitized by Google

rupture se fait difficilement, et quand elle arrive, la texture est à beau nerf blanc et soyeux, même dans une cassure par choc brusque, tandis qu'avant la trempe, la pièce forgée cassait plus aisément en montrant une texture à grains. Mais, pour que la trempe *fasse revenir* le fer, lui *donne du corps*, il est essentiel que ce métal ne contienne pas trace de phosphore; une proportion minime de ce métalloïde suffit pour ôter au fer cette propriété et pour le faire aigrir par la trempe. On devrait toujours tremper les pièces forgées en bon fer, et il est difficile de comprendre la résistance qu'opposent à cette pratique certaines compagnies de chemins de fer, qui veulent que leurs essieux, par exemple, cassent toujours à grain.

Cette propriété de la trempe du fer doux joue un grand rôle dans la fabrication des *blindages* ou *plaques de cuirasses* pour navires, telle qu'elle est pratiquée en France. Ces pièces, souvent de poids et de dimensions énormes, se fabriquent au laminoir universel alternatif au moyen d'un paquet composé ordinairement de deux demi-blindages; chacun de ceux-ci s'obtient en laminant un paquet composé d'une couverte épaisse et de mises en fer corroyé de profil variable. Le fer qui compose le corps de la plaque passe quatre fois au four à réchauffer avant le finissage; celui des surfaces extérieures y passe cinq fois. Lorsque la plaque sort du laminoir, les mises doivent être parfaitement soudées, et le fer qui a été rendu trop nerveux par les cylindres doit être capable de revenir à la trempe. Celle-ci s'effectue en laissant d'abord refroidir les plaques, puis en les réchauffant au rouge cerise un peu clair dans un four dormant; on les plonge ensuite dans une bâche d'eau courante. De là les plaques vont au four à recuire, où on leur donne une chaleur sombre afin d'adoucir la surface des plaques. On obtient dans les usines françaises des plaques d'excellente qualité : elles sont maintenant partout obtenues au laminoir, le marteau ne servant que pour le cintrage des plaques du taillemer, de la flottaison, etc.

Notre fabrication de blindages est inférieure comme

Digitized by Google

outils, puissance et agencement, à celle de l'Angleterre, mais lui est supérieure comme qualité. Les *armour plates* anglaises sont ordinairement admirablement soudées, même avec une épaisseur qui atteint 30 centimètres et plus; elles ont l'aspect de la pierre de taille, mais elles se brisent comme elle si le choc est suffisamment violent, sans se laisser traverser. Les usines anglaises attachent plus d'importance au soudage qu'à la douceur des fers qu'elles emploient, et toute la fabrication est dirigée en vue d'un bon soudage : elles ne pratiquent pas la trempe.

Il faut cependant dire qu'une usine française, celle de MM. Petin, Gaudet et C°, fabriqua la première des blindages laminés. En 1862, elle pouvait livrer couramment des blindages et des balanciers en fer du poids de 7 à 8 tonnes ; les Anglais ne le pouvaient pas encore, quoique l'usine de Butterley eût exposé un de ces derniers. MM. Petin, Gaudet et C° ont livré des balanciers en fer laminés à M. Scott-Russell et à une maison de Londres pour les transatlantiques français construits en Angleterre.

Les plaques de blindages se font maintenant toujours en fer et ordinairement au laminoir. On a essayé tous les systèmes possibles : tôles d'acier, tôles combinées de fer et d'acier, plaques d'acier, etc. Rien n'a surpassé les plaques faites en bon fer provenant de fonte au charbon de bois ou de fonte fine au coke. On ne fabrique plus de plaques au marteau pilon que dans les usines dont la production n'est pas assez importante pour justifier la création d'un grand laminoir.

Le forgeage des gros lingots d'acier est une opération excessivement délicate. Le réchauffage d'une masse très-épaisse d'acier (1 mètre par exemple) est très-dangereux ; il ne faut pas qu'elle refroidisse jamais : autrement, quand on la remet dans le four, elle craque par suite des inégalités de dilatation. C'est pourquoi M. Krupp, qui forge un canon, tourillons compris, d'une seule pièce dans un lingot, est obligé de garder toujours ses lingots chauds, dans les intervalles du travail, en les recouvrant de combustible enflammé. MM. Petin, Gaudet et C° ont imaginé, pour remédier à cet

Digitized by Google

inconvénient, de couler les lingots pour canons avec une âme creuse et de les forger ensuite sur un mandrin en fer qui reste engagé dans le canon et qu'on enlève ensuite au forage, qui se fait plus vite, puisqu'on travaille dans du fer.

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

FRANCE. — Les pièces de forge les plus remarquables par leur poids et leur travail étaient celles exposées par *MM. Marrel frères,* de Rive-de-Gier. Tout le monde a remarqué le magnifique arbre à trois manivelles coudées destiné à la frégate cuirassée *le Suffren :* il pesait 30 180 kilogrammes et avait été fabriqué, en trente-deux jours, à l'aide d'un marteau pilon de 20 tonnes ayant une hauteur de chute de 3m,60 ; pour obtenir cette pièce finie pesant 30 tonnes, il avait été consommé environ 60 tonnes de fer. A côté de cet arbre monstre, se voyaient d'autres pièces également remarquables : un arbre à quatre coudes pour machine marine à grande détente, une manivelle énorme de 500 chevaux pour un des paquebots du Brésil, une bielle pour une frégate cuirassée égyptienne, des essieux et des longerons de locomotives. MM. Marrel frères avaient encore apporté au Champ de Mars les modèles en bois de grandeur naturelle de deux pièces de forge remarquables par leurs dimensions et les difficultés de la façon, savoir : l'étrave de la frégate prussienne *Prince-Frédéric-Charles* et l'étambot de la frégate espagnole *Numancia ;* cette dernière, d'un seul morceau, pèse 20 tonnes et mesure 11m,50 de hauteur sur 7m,50 de longueur. L'usine de Rive-de-Gier, grâce à l'habileté de M. Jean-Baptiste Marrel, l'aîné des six frères, fournit couramment aux constructions navales des pièces de cette importance.

Une autre usine de Rive-de-Gier, celle de *MM. Russery et Lacombe,* exposait des pièces de moindre poids, mais plus compliquées de formes et aussi très-remarquables par leur exécution, comme un croisillon pour ventilateur de mine, un gouvernail de navire d'une seule pièce pesant 5 000 kilo-

Digitized by Google

grammes, des corps de roues de wagons à rais assemblés dans le moyeu sans soudure. On remarquait aussi des essieux coudés en fer et en acier Bessemer forgés dans des matrices sans enlèvement de matière par un procédé spécial à la maison.

*MM. Petin, Gaudet et C*e fabriquent aussi de gros arbres en fer forgé, des essieux droits et coudés en fer et en acier; j'ai remarqué surtout un arbre coudé en acier fondu, pesant 7 710 kilogrammes et forgé dans un lingot de 16 tonnes pour les bateaux des Messageries impériales ; un creuset en fer forgé pour fondre l'argent, d'une homogénéité merveilleuse, comme le témoignait sa sonorité ; un balancier en fer laminé pour machine d'épuisement (longueur, 11 mètres; largeur maximum, 1m,80 ; épaisseur, 65 millimètres), semblable à d'autres fournis à la Société des mines de Montrambert en 1866. Cette maison livre des balanciers analogues pour la construction des steamers transatlantiques.

Je ne puis que citer en passant des pièces forgées également remarquables comprises dans les expositions de MM. Dietrich et Ce (usine de Reichshoffen), de MM. Schneider et Ce (Creusot) et de MM. Boigues, Rambourg et Ce (Fourchambault).

Les usines françaises où ont été fabriqués les premiers blindages pour la première frégate cuirassée, la *Gloire*, sont celles de MM. Petin, Gaudet et Ce, MM. Charrière et Ce (Allevard) et MM. Laubenière et Ce (Rouen). En 1867, les usines qui exposaient des blindages étaient : les *forges de Saint-Chamond* (MM. Petin, Gaudet et Ce), les *forges de Rive-de-Gier* (MM. Marrel frères), la *forge de Montluçon* (Société de Châtillon-Commentry) et la *forge de Guérigny* (marine impériale). La collection la plus complète était celle de MM. Petin, Gaudet et Ce, qui présentaient :

1° Trois plaques ayant 15, 20 (1) et 25 centimètres

(1) D'après un essai fait le 3 juin 1867, cette plaque a résisté au boulet d'acier de 24 centimètres pesant 145 kilogrammes, tiré à 22 mètres avec une charge de 24 kilogrammes de poudre.

Digitized by Google

d'épaisseur sur 1m,20 de largeur et pesant 6 400, 8 300 et 9 600 kilogrammes ;

2° Cassures de deux plaques de 20 centimètres montrant la qualité du fer employé ;

3° Blindage d'essai du premier lot de la corvette française *la Jeanne-d'Arc* (15 centimètres). Cette plaque a reçu six coups tirés à 22m,50 de distance avec des boulets ronds de 50, pesant 24 kilogrammes, à la charge de 8 kilogrammes de poudre. La moyenne des pénétrations n'est que de 46 millimètres; les bossages de la face arrière ont une saillie de 18 millimètres. Ces faibles pénétrations et l'absence de fissures prouvent que la matière réunit au plus haut degré deux qualités difficiles à associer : la dureté et la malléabilité ;

4° Blindage d'essai de la corvette italienne la *Voragine*, éprouvé en 1866 à la Spezzia. Les épreuves consistent dans le choc de huit coups de canon de 80 tirés à la distance de 12 mètres, avec la charge de 6k,200 de poudre italienne, les six coups devant être groupés dans une surface très-restreinte (pénétration, 48 millimètres; bossages, 29 millimètres) ;

5° Modèles de navires cuirassés dont les plaques ont été fournies par la maison : ils étaient en 1867 au nombre de quarante-deux, dont trente français. Les premiers sont les canonnières qui ont figuré dans la guerre de Crimée au siége de Kinburn et qui ont établi le succès des bâtiments blindés. Les plaques de MM. Petin, Gaudet et Ce ont figuré honorablement au combat de Lissa et au bombardement de Callao.

MM. Marrel frères exposaient aussi des plaques fournies à diverses frégates françaises et italiennes (*Héroïne*, *Roma*, *Messina*) d'une épaisseur variant de 10 à 15 centimètres (1), entre autres une plaque de 13 centimètres cintrée à chaud sous un angle de 45 degrés, refroidie pendant vingt-quatre heures, puis redressée à froid avec une presse hydraulique

(1) En 1867, on ne livrait pas encore très-couramment des plaques plus épaisses que 15 centimètres.

Digitized by Google

de 1250 tonnes de pression. Ces plaques sont fabriquées par un procédé un peu différent de celui de MM. Petin, Gaudet et Cᵉ.

Les *forges de Châtillon et Commentry*, qui sont maintenant au premier rang pour cette fabrication, exposaient en 1867 deux plaques seulement : 1° une plaque de 4,620 × 0,905 × 0,200, pesant 6500 kilogrammes, brute de laminage; 2° une plaque ajustée et percée, de 2,000 × 0,800 × 0,150, pesant 1920 kilogrammes et ayant subi l'épreuve du canon à Vincennes. Il était curieux de voir à côté de ces plaques épaisses une feuille de tôle extra-mince de 3 × 1 × 0,00012, pesant 3 kilogrammes seulement.

Depuis 1867, d'autres forges françaises se sont adonnées à la fabrication des blindages, notamment celles de MM. Barrouin et Cᵉ, à Saint-Étienne. Le prix des plaques a bien diminué : il est maintenant voisin de 80 francs les 100 kilogrammes, après avoir été supérieur longtemps à 120 francs.

Il est à peine utile de citer la plaque de 22 centimètres exposée en 1867 par les *forges impériales de Guérigny ;* elle était d'une fabrication médiocre, mal soudée, et le boulet ogivo-cylindrique de 24 centimètres, qui s'y trouvait enchâssé pour le plus grand plaisir des badauds, avait été tiré bien probablement contre la plaque préalablement rougie et non contre une plaque en situation de combat. Cette exhibition était fâcheuse et peu propre à donner aux étrangers une haute idée de notre véracité nationale.

Après les blindages, je dirai seulement quelques mots des remarquables canons d'acier forgé fabriqués par *MM. Petin, Gaudet et Cᵉ*. Cette fabrication était encore toute nouvelle en 1867, et malheureusement pour la France, elle n'a pas reçu du gouvernement les encouragements ou plutôt les commandes qu'elle méritait. On voyait à l'Exposition un canon de 24 centimètres destiné à être chargé par la culasse, du poids de 16000 kilogrammes ; un canon de 12 pour l'artillerie de terre, et deux tronçons d'un canon de marine de 19 centimètres. Ces pièces avaient été fabriquées par le pro-

Digitized by Google

cédé spécial de MM. Petin, Gaudet et Cᵉ ; le tube intérieur provenait d'un lingot à âme creuse, forgé sur mandrin intérieur en fer, enlevé ensuite par le forage ; ce tube est ensuite renforcé par une ou plusieurs séries de frettes produites au moyen d'enroulages en acier puddlé très-élastiques. L'usine de Saint-Chamond a une réputation méritée pour la confection de ces frettes à canons. Elle exposait aussi des projectiles d'acier forgé : boulets ogivo-cylindriques et cylindriques de rupture, dont le plus gros avait 42 centimètres de diamètre et pesait 780 kilogrammes ; boulets sphériques, dont le plus gros avait aussi 42 centimètres et pesait 304 kilogrammes.

Grande-Bretagne. — La section anglaise ne présentait pas dans le palais de l'Exposition de spécimens attirant beaucoup l'attention ; les arbres et les essieux droits et coudés exposés par les forges de Lowmoor, de Monkbridge, de Bowling, de Clarence, et par les aciéries de MM. John Brown et Cᵉ, et par MM. T. Turton et fils, de Sheffield, ne sortaient pas des travaux de forge assez ordinaires. Mais il en était tout autrement dans les annexes consacrées au matériel de guerre ; là l'habileté métallurgique de nos voisins d'Angleterre éclatait dans toute sa puissance.

Tout le monde a remarqué, dans l'exposition des ateliers de Woolwich, la spirale triple en fer carré de 115 × 115 millimètres, destinée à fournir après réchauffage, soudage et forgeage un manchon de renfort pour canon de 25 tonnes système Fraser. Cette énorme trousse tubulaire, ayant 70 centimètres de diamètre intérieur, 1ᵐ,40 de diamètre extérieur et 2ᵐ,40 de longueur, était formée par 18 tours de spire de trois barres de fer (ayant 73, 61 et 50 mètres de longueur) et pesait 18 916 kilogrammes ; elle attestait l'existence d'un outillage singulièrement puissant pour l'enroulement d'un fer de cette dimension et pour le réchauffage d'une masse pareille. On voyait à côté un manchon fini provenant d'une trousse semblable, et pesant 15 234 kilogrammes. Les ateliers de l'Etat, à Woolwich, exécutent en effet couramment des travaux auxquels on ne peut même

Digitized by Google

songer à Indret ou à Guérigny : leur exposition était des plus intéressantes. J'y ai remarqué un petit bloc de fer découpé en spirale à la scie Périn, et portant une note indiquant que depuis l'Exposition de 1855 ce système de découpage du fer à la scie sans fin est très-employé pour la fabrication des flasques, des coins et autres pièces du matériel d'artillerie. La vitesse de la scie doit être lente (75 mètres par minute), et celle-ci ne doit avoir que quatre dents par centimètre de longueur, coupées fines et en acier aussi dur que possible ; une plaque de 25 millimètres d'épaisseur peut être sciée suivant les contours les plus variés à raison de 40 millimètres par minute.

Deux forges anglaises avaient des blindages exposés. Une plaque de l'*usine de Millwall*, près Londres (6,33 × 1,30 × 0,152), pesant 9546 kilogrammes, fabriquée pour le *Bellerophon*, et soumise en 1863 à l'essai de dix-huit coups de canon, montrait d'intéressants effets de projectiles qui avaient varié depuis le boulet Whitworth de 70 livres ($31^k,4$) en acier, jusqu'au boulet sphérique d'acier de 267 millimètres (76 kilogrammes); ce dernier, lancé avec une vitesse initiale de 448 mètres, avait traversé la plaque, de même que sept boulets de 53 kilogrammes en acier ou en fonte trempée (système Palliser), tirés avec une vitesse initiale de 405 mètres. Cette plaque n'était du reste nullement supérieure comme fabrication à nos blindages français. Mais un autre spécimen, provenant de l'usine de *MM. John Brown et Cᵉ* (Atlas Works, à Sheffield), dépassait ce que nos forges françaises pouvaient faire à cette époque. Cette plaque d'embrasure pour batterie de côte, laminée en juillet 1864, avait $4^m,25 \times 1^m,90$ et 345 millimètres d'épaisseur, et pesait 20 tonnes ; en sortant du four, avant la dernière passe au laminoir, elle avait 533 millimètres d'épaisseur; elle a reçu à 180 mètres de distance huit coups de canon avec des projectiles pleins d'acier de 7 à 10 pouces de diamètre, pesant 53 à 130 kilogrammes, les vitesses initiales variant de 369 à 425 mètres. Elle n'a pas été traversée, mais un des côtés de l'embrasure a été fendu comme si c'était de la

Digitized by Google

pierre de taille; sauf cette fissure, qui semble s'être prolongée dans un plan de joint, aucune partie de la plaque ne présente trace du moindre dessoudage. MM. J. Brown et Ce, qui fabriquent leurs *armour plates* avec des fers provenant des meilleures fontes à l'air froid du Yorkshire et du Derbyshire mélangées de fontes étrangères, donnent tous leurs soins au bon soudage des diverses loupes cinglées ou *slabs*, dont ils composent leurs plaques ; ils emploient beaucoup le marteau pilon et, pour le laminage, ils ne veulent point du laminoir universel, soutenant qu'il s'oppose à un soudage parfait. Leurs plaques brutes sortant des cylindres, et dont la surface est constamment mouillée pendant le cours du travail, ont des tranches concaves qu'on enlève ensuite à la machine à mortaiser. MM. J. Brown et Ce exposaient un autre blindage de $9^m,10 \times 1,06 \times 0,15$, pesant 11 420 kilogrammes, ainsi que la chute de la grosse plaque de 345 millimètres, et des copeaux enlevés à ces plaques et ayant plus de 16 centimètres de largeur. A côté de leurs plaques, on voyait les moyens d'attaque, savoir : des boulets ronds et coniques en acier fondu et martelé, parmi lesquels un boulet sphérique de 508 millimètres de diamètre, pesant 524 kilogrammes.

Dans cette même annexe du matériel de guerre se trouvaient les expositions de *M. Armstrong* en canons de fer forgé et de *M. Whitworth* en canons d'acier fondu forgé, ainsi que les canons *Palliser*, dont l'intérieur est en fer forgé (*coil system* d'Armstrong) et l'extérieur en fonte coulée autour de ce noyau de fer.

Prusse et Allemagne du Nord. — La *Société du Phénix* exposait quelques pièces fort remarquables, comme une tige de piston creuse, longue de $4^m,50$, ayant 375 millimètres de diamètre extérieur et 285 millimètres de diamètre intérieur; une tige de marteau pilon forgée d'une seule pièce avec la tête et avec le piston; une chaudière hémisphérique en tôle de 1 centimètre emboutie, supportée par un trépied formé de trois essieux de wagon noués à froid, etc. La maison *Fried. Krupp*, d'Essen, présentait tout un assortiment de canons en acier fondu et martelé, depuis la légère pièce de cam-

Digitized by Google

pagne prussienne de 4 jusqu'à l'énorme canon de côte de 1 000, qui a tant attiré de curieux. Cette pièce d'artillerie monumentale, pesant à elle seule 20 tonnes, a été obtenue par le forgeage d'un lingot de 42 tonnes et demie, sous le marteau pilon de 50 tonnes; les frettes, formant à la chambre une triple et à la volée une double couche, pèsent ensemble 30 tonnes, de sorte que le canon complet pèse 50 tonnes, sans compter son affût, également en acier fondu et pesant 15 tonnes. L'exécution de ce canon monstre a duré seize mois sans interruption ; il ne nous appartient pas de dire ici s'il a autant de valeur comme arme que comme spécimen de travail métallurgique. *M. Berger*, de Witten, exposait aussi des canons en acier fondu et forgé, fabriqués pour la Suisse, la Hesse, etc.

Il est remarquable qu'aucune usine allemande n'exposait de plaques de blindage en 1867.

Autriche-Hongrie. — L'*usine de Storé* (Styrie) exposait des plaques de 123 et de 88 millimètres qui avaient été tirées à 190 mètres de distance, avec un canon lisse de 48, chargé de boulets pleins de 27 kilogrammes, avec bouchon annulaire, et $7^k,8$ ou $4^k,5$ de poudre, suivant l'épaisseur des plaques ; elles avaient bien résisté : la plus épaisse avait reçu six boulets. Les blindages de Storé sont fabriqués au marteau pilon de 12 tonnes et demie, et pèsent jusqu'à 10 tonnes ; ils ont reçu honorablement le baptême du feu au combat naval de Lissa. *Hugohuette* (Styrie), appartenant au comte Hugo Henckel, de Donnersmark, fabrique aussi des plaques pour bâtiments cuirassés et peut en fournir 1 700 tonnes par an.

Pays divers. — En Russie, les *forges impériales de Kamsk* (Perm) exposaient un blindage de 113 millimètres d'épaisseur, fabriqué en fer puddlé au bois de fonte au charbon de bois ; cette dernière provenant des fourneaux de Kouschva, Verkhne-Toura, etc., qui traitent les minerais de Goroblagodat : cette plaque avait été tirée à la distance de 105 mètres, avec des boulets ronds en fonte et des boulets ogivo-cylindriques d'acier fondu pesant 28 kilogrammes.

Digitized by Google

L'Italie exposait un arbre pour machine à vapeur marine de 900 chevaux, et deux plaques de blindage, l'une de 11 centimètres, l'autre de 20 centimètres, le tout fabriqué à Gênes, chez *MM. Ansaldo et Cᵉ*, avec des fers indigènes.

CHAPITRE CINQUIÈME

FABRICATION DU MATÉRIEL ROULANT DE CHEMINS DE FER.

PREMIÈRE SECTION

Essieux.

Les essieux droits pour locomotives ou pour wagons se fabriquent de différentes manières, soit en fer, soit en acier doux, et l'Exposition de 1867 offrait au visiteur des spécimens de bien des procédés de fabrication.

Les *essieux en fer fin* (fer aciéreux, fer à fin grain) sont fabriqués au moyen de trousses à section carrée que l'on soude soigneusement au marteau pilon et au laminoir avant de procéder au forgeage et à l'étampage. Les trousses sont composées de mises plates en fer puddlé de fonte au charbon de bois ou de fonte fine au coke plusieurs fois corroyé. Quelques usines anglaises emploient des trousses à section circulaire composée d'une âme en fer rond ou carré sur laquelle viennent s'assembler quatre mises en fer profilé spécialement, mais on n'arrive pas à une homogénéité aussi grande qu'avec le procédé des trousses à mises multiples. En France, les forges de Fourchambault (MM. Boigues, Rambourg et Cᵉ), de Reichshoffen et Zinswiller (MM. de Dietrich et Cᵉ), de Firminy (MM. F. Verdié et Cᵉ), de Saint-Chamond (MM. Petin, Gaudet et Cᵉ), de M. A. Leseigneur et Cᵉ, à Paris; en Angleterre, les usines de Lowmoor, de Bowling, de Monkbridge et de Clarence (MM. Taylor frères) ; en Belgique, les usines de Seraing, d'Ougrée, de Zone, de Clabecq ; en Prusse, la Société du Phénix et M. Borsig ; en Autriche, la Société I. R. P. des chemins de fer de l'Etat, l'usine de Hugohuette ; en Suède, les forges de Surahammar avaient exposé

Digitized by Google

des essieux de wagons et de locomotives fabriqués de cette façon ; on voyait des cassures et des spécimens de pliages témoignant de la bonne qualité des fers à fin grain ou des fers nerveux qui composaient les essieux exposés.

Les *essieux en acier fondu doux* (acier fondu au creuset, métal homogène, acier Bessemer, acier Atlas) ont gagné beaucoup de terrain maintenant : leur fabrication se comprend aisément dès que l'on a obtenu un acier suffisamment doux pour résister aux chocs et suffisamment dur pour ne pas s'user trop vite par le frottement. Plusieurs usines exposaient des essieux ayant subi des torsions, des flexions et des nœuds qui témoignaient de l'homogénéité et de la ténacité de la matière.

Parmi les aciéries françaises, celles de Mouterhausen (MM. de Dietrich et Ce) et de Terrenoire fabriquaient des essieux en acier Bessemer ; j'ai donné plus haut les chiffres de résistance de l'acier de Terrenoire. MM. Petin, Gaudet et Ce fabriquent aussi des essieux droits et coudés pour wagons, tenders et machines en acier fondu soit au creuset, soit au convertisseur. MM. E. et P. Martin exposaient un essieu coudé de locomotive fabriqué avec de l'acier obtenu par leur nouveau procédé.

Une forge belge, celle de Clabecq, exposait un essieu de locomotive en acier Bessemer, provenant sans doute de Seraing.

En Angleterre on fabrique beaucoup d'essieux en acier ; j'ai remarqué en 1867 les produits de la Barrow Hematite Steel Company, et ceux de MM. J. Brown et Ce (Atlas Works, à Sheffield), en acier Bessemer ; ceux de MM. T. Turton et fils (Sheffield), en acier fondu au creuset. MM. J. Brown et Ce avaient exposé un essieu creux fabriqué par le procédé Deakin et Johnson.

L'usine suédoise de Fagersta avait envoyé à Paris en 1867 des essieux d'une belle fabrication, montrant une cassure remarquablement homogène, en acier Bessemer à 0,3 et 0,4 pour 100 de carbone.

En Prusse, trois aciéries fabriquent de grandes quantités

Digitized by Google

d'essieux en acier fondu au creuset. L'usine de Bochum avait en 1867 déjà livré plus de 40 000 essieux en acier fondu pour wagons et plusieurs milliers pour locomotives ; l'acier est doux et non trempé. L'usine de la maison Krupp, à Essen, fait aussi des essieux en acier puddlé refondu au creuset, tandis que celle de Hoerde emploie l'acier Bessemer.

En Saxe, à la fabrique de Dœhlen, on produit aussi des essieux en acier fondu.

Sans vouloir discuter ici la question de préférence, on est obligé de reconnaître que les essieux d'acier fondu exposés en 1867 l'emportaient comme nombre sur ceux provenant de trousses en fer soudé et forgé.

DEUXIÈME SECTION

Ressorts.

Il y a peu d'années, tous les ressorts de wagons et de locomotives se fabriquaient avec de l'acier de cémentation corroyé; cette espèce d'acier porte même encore en Angleterre le nom de *springsteel* (acier à ressorts). Les progrès de la fabrication ont permis à certaines maisons allemandes d'employer l'acier puddlé corroyé, par exemple, à MM. Gouvy frères, qui fournissent bon nombre de chemins de fer français. Plus récemment encore on s'est mis à fabriquer les ressorts en acier fondu soit au creuset (acier puddlé fondu), soit à l'appareil Bessemer. L'important est d'avoir un métal bien homogène, suffisamment dur pour être assez élastique et capable de supporter de légers allongements sans se rompre.

Il faut distinguer entre les *ressorts de suspension* et les *ressorts de choc* (ou *buffers*, comme disent les Anglais). Les premiers sont toujours faits avec des lames plates laminées qui ont été longtemps en acier cémenté corroyé, comme les ressorts de voitures qu'exposait en 1867, en France, la *Société métallurgique de l'Ariége* (ressorts à rouleaux droits ou renversés, 70 francs les 100 kilogrammes ; ressorts à pincettes, 120 francs les 100 kilogrammes). *MM. Gouvy frères*,

Digitized by Google

de Hombourg et Goffontaine ; fabriquent leurs ressorts en acier puddlé corroyé, de même que *MM. Asbeck, Osthaus, Eicken et Cᵉ*, de Wehringhausen (Westphalie) ; quelques ingénieurs préfèrent encore l'acier corroyé à l'acier fondu, sans doute parce qu'ils ont eu affaire à des aciers fondus trop durs.

Tous les autres exposants fabriquaient leurs ressorts en acier fondu. En France, *MM. Verdié et Cᵉ* se servaient d'acier au creuset, et *MM. Petin, Gaudet et Cᵉ* d'acier Bessemer. En Allemagne, les usines de *Bochum* (qui ont livré déjà plus de 150 000 ressorts à diverses compagnies), d'*Essen* et de *Dœhlen* emploient l'acier fondu au creuset. En Autriche, *M. Fr. Mayr* et les *usines d'Eibiswald* font usage d'acier au creuset ; celles de *Storé* (ressorts cotés 62 francs environ les 100 kilogrammes) et de *Neuberg*, d'acier Bessemer. En Angleterre, *MM. Turton et fils, MM. Spencer et fils* emploient l'acier au creuset ; *MM. J. Broton et Cᵉ*, l'acier Bessemer.

Outre les ressorts de suspension en lames parallèles, on voyait à l'Exposition des ressorts de choc formés soit d'une barre demi-ronde d'acier fondu enroulée en hélice autour d'un mandrin conique (*système J. Brown*), soit d'une feuille triangulaire en tôle d'acier enroulée en spirale (*système Baillie* ou *ressorts volutes*). Les premiers étaient exposés par Atlas Works, de Sheffield, et les seconds par MM. Spencer et par M. Mayr. Ce dernier déclarait avoir fourni en 1866 près de 27 000 ressorts Baillie pour ressorts de choc, de traction et même de suspension, aux chemins de fer autrichiens, allemands et italiens.

MM. Petin, Gaudet et Cᵉ exposaient des *ressorts Belleville* formés de disques en forme d'assiettes, en tôle d'acier fondu, appliqués deux à deux l'un contre l'autre par le côté concave.

TROISIÈME SECTION

Roues.

Je ne veux pas ici m'arrêter sur les *centres de roues en fer forgé* fabriqués suivant divers systèmes et exposés par

Digitized by Google

MM. Boigues, Rambourg et Cᵉ, MM. de Dietrich et Cᵉ, MM. Arbel-Déflassieux frères, MM. A. Leseigneur et Cᵉ, MM. Petin, Gaudet et Cᵉ, M. Russery-Lacombe en France; par les usines du Phénix en Westphalie; par celles de Seraing et de Fayt en Belgique; par M. W. Zethelius (Surahammar) en Suède; et par la Owen's Patent Wheel Tyre and Axle Company, de Rotherham, en Angleterre; non plus que sur les *roues pleines en acier moulé* exposées par M. Fr. Mayr, de Styrie, ou fabriquées par MM. Vickers et fils, de Sheffield; ni sur les *roues en fonte à jante trempée*. Je dirai seulement quelques mots de trois fabrications spéciales.

A l'*usine de Moabit*, près Berlin, chez M. Borzig, on fait des roues à disque plat forgées d'un seul morceau dans une seule grosse loupe de fer puddlé qu'on corroie soigneusement au marteau. A l'*usine de Hoerde*, près de Dortmund; on fait les ébauches de roues en fer façonné dans un laminoir alternatif ordinaire, présentant une cannelure appropriée, et on estampe ces ébauches au marteau pilon pour les terminer. Mais ces deux fabrications ne sont pas aussi courantes ni aussi intéressantes que le mode employé à la *forge de la Providence* à Hautmont, par M. Helson, son ingénieux inventeur. On voyait à l'Exposition six ou sept types de roues à disque plat (compagnies de l'Ouest, du Midi, d'Orléans, du Nord, de l'Etat belge, etc.), et cinq types de roues à disque ondulé (Etat belge, Luxembourg, Ouest, Orléans, Amérique) fabriquées au laminoir sans soudure. L'appareil qui sert à les obtenir est fort ingénieux; les parties travaillantes des cylindres laminoirs sont coniques et leurs axes font entre eux un certain angle.

QUATRIÈME SECTION

Bandages.

On sait que les ingénieurs de chemins de fer ne sont pas tous du même avis sur la matière dont doivent être fabriqués les bandages de roues pour présenter les meilleures garanties de durée et de solidité. Les uns préconisent les ban-

Digitized by Google

dages en acier fondu ; d'autres ne veulent que des bandages fabriqués au moyen de trousses soit en fer, soit en acier puddlé. Je crois, pour mon compte, que les bandages fabriqués avec des lingots d'un métal homogène, comme l'acier doux, seront toujours préférables à ceux provenant de mises soudées ; mais il ne faut pas vouloir, comme certains chemins de fer, exiger des fabricants que leurs produits parcourent sans usure un *miléage* exagéré, exigence qui les entraîne à employer un acier trop dur, incapable de supporter un allongement fort médiocre. Souvent aussi on place les bandages sur les roues, à chaud, sans se préoccuper suffisamment de l'allongement que le refroidissement fera subir à l'acier ; il en résulte qu'on a des bandages dont les molécules sont dans un état de tension exagérée ; un choc peut amener la rupture du bandage, ou bien le même inconvénient se produira presque sûrement lorsque le froid de l'hiver contractera davantage encore le métal (accident que certains ingénieurs attribuent à tort à l'acier, et qui est dû à la tension initiale exagérée qui a été produite par une différence trop grande entre le diamètre extérieur de la roue et le diamètre intérieur du bandage).

Les fabricants se conforment naturellement aux désirs des acheteurs de leurs produits ; les uns fabriquent uniquement des bandages en mises soudées, les autres travaillent des lingots d'acier, d'autres enfin emploient les deux systèmes.

Bandages fabriqués avec des paquets droits. — Un certain nombre d'usines fabriquent d'abord, au moyen d'un paquet rectangulaire, une barre profilée à peu près suivant la forme du bandage, qu'ils cintrent et qu'ils soudent ensuite par des procédés plus ou moins variés. Les usines d'Allevard (*MM. A. Charrière et Ce*) et de Reichshoffen (*MM. de Dietrich et Ce*), en France, exposaient des produits remarquables obtenus de cette façon.

MM. A. Charrière et Ce avaient apporté au palais du Champ de Mars, une intéressante série de modèles qui faisaient suivre au visiteur toutes les phases de la fabrication. La trousse rectangulaire est composée de dix mises : les quatre mé-

Digitized by Google

dianes en acier puddlé dur, les deux extérieures en fer au bois, les quatre autres en acier puddlé doux. Le rôle des couvertes en fer finit pour ainsi dire avec la fabrication : car il est principalement de préserver l'acier à titre d'écran pendant les nombreuses chaudes du corroyage ; pendant le service du bandage, le fer se trouve hors de toute atteinte du rail. Le four à réchauffer ces trousses présente une disposition toute particulière, qui rappelle les petits fours soufflés ordinaires des corroyeurs d'acier. Voici à son sujet quelques détails que je dois à l'obligeance de MM. A. Charrière et Cᵉ :

En principe, c'est un talus de houille sur lequel frappe le vent d'une tuyère horizontale. Une enceinte réfractaire réverbère la chaleur du gaz sur la pièce en élaboration, que ne touchent ni le vent ni le combustible, en en restant le plus près qu'il se peut. Chaleur rayonnante, chaleur de flamme, tout est utilisé. La conduite du feu se fait par le maniement au ringard du talus de charbon. L'accès du charbon frais et sa direction dans le feu peuvent être ménagés de manière à traiter la houille par distillation d'abord, puis graduellement par combustion directe du coke ; le tout avec une méthode qui paraît au premier abord peu compatible avec une aussi complète simplicité d'appareil. Ces fours, très-économiques comme consommation de houille, ont surtout l'avantage de se prêter aux nombreux soins de détail que réclame le chauffage de l'acier.

La pièce se retourne au feu, se surveille et se sable comme dans une forge à main. Les chaudes sont aussi rapides et aussi piquantes que possible, condition précieuse pour l'acier ; leur courte durée permet de les répéter impunément jusqu'à parfait soudage ; les dernières ne durent que trois à quatre minutes. Le forgeage, au sortir de ces fours, se fait au marteau pilon ; chaque paquet donne deux bandages ; il se forge successivement des deux bouts ; la reprise se trouve vers le coup de tranche séparatif. Le calibrage ne se fait qu'après un soudage assuré, auquel est subordonné le nombre des chaudes, qui varie de 4 à 8 pour chaque bout.

Digitized by Google

Les barres ou bidons produits par le corroyage ayant été profilés au laminoir et arrondis en cercles par les moyens ordinaires, on en fait la soudure d'une manière spéciale à l'usine d'Allevard (1), en se servant pour le réchauffage d'un four de forme rectangulaire, composé de la réunion de trois foyers, dont chacun n'est que la répétition à une échelle moindre du four de corroyage. La question des soudures a été particulièrement étudiée à Allevard, parce qu'elle est capitale pour des bandages en acier, moins facilement soudables que ceux en fer, et qu'en assurant à cette opération toutes les garanties possibles, on écarte le seul reproche qui soit à faire au mode de fabrication par cintrage des barres droites, mode qui a l'avantage de présenter des facilités spéciales pour le bon corroyage.

A Mouterhausen, chez MM. de Dietrich et Ce, on emploie pour les bandages soudés une soudure faite d'après un système spécial de croisement des extrémités, qui évite l'emploi des coins. Un fort martelage au marteau pilon assure une soudure intime. Cette usine exposait un bandage en fer affiné au bois, un autre en fer aciéreux, et un troisième en acier puddlé.

MM. Verdié et Ce, de Firminy, fabriquent, par un procédé un peu différent, des bandages soit en fer fin, soit en acier puddlé. Ils soudent la trousse au pilon, l'étirent sans la profiler, puis la soudent avec deux coins ; après quoi on forge l'anneau sur une enclume profilée avant de la laminer au laminoir à bandages. Ils exposaient divers spécimens, entre autres un bandage en fer fin de 3^m^,07 de diamètre intérieur, pesant 800 kilogrammes et ayant 66 millimètres d'épaisseur au roulement.

La société des chemins de fer de l'État, en Autriche, les usines du Phénix et de Hoerde, en Westphalie, exposaient aussi des bandages fabriqués d'une manière analogue.

BANDAGES FABRIQUÉS AVEC DES TROUSSES ANNULAIRES. — Ces bandages ont reçu la désignation de *bandages sans soudure*, parce

(1) Voir *Bulletin de la Société des ingénieurs civils*.

Digitized by Google

qu'ils ne présentent pas de soudure transversale ; mais ils sont composés, comme les précédents, d'un grand nombre de mises soudées entre elles. Leur fabrication a été installée d'abord en France, chez MM. Petin, Gaudet et C°, qui fournissent aux chemins de fer des bandages sans soudure en acier puddlé d'une excellente qualité. L'usine de Montataire livre aussi des bandages sans soudure en fer.

Les forges anglaises du Yorkshire, comme celles de Lowmoor, Bowling, Monkbridge et Clarence, fabriquent aussi des bandages sans soudure avec leurs excellents fers si connus.

En Belgique, les usines de Seraing et d'Ougrée emploient la même méthode pour la confection de leurs bandages.

Bandages fabriqués avec des lingots d'acier fondu. — La forme des lingots avec lesquels on fabrique les bandages a notablement varié. Certaines aciéries, comme MM. Petin, Gaudet et C°, MM. de Dietrich et C°, coulent des lingots annulaires. D'autres, comme MM. J. Brown et C°, MM. Vickers et fils, en Angleterre, emploient des lingots cylindriques pleins qu'on aplatit au pilon et dans lesquels on pratique l'ouverture centrale au moyen d'un refouloir. M. Ramsbottom, de Crewe, a imaginé aussi un mode de fabrication que j'ai indiqué pl. XL par quelques croquis : il coule d'abord un lingot conique, qu'il forge avec son marteau duplex, de façon à le transformer en disque en faisant rentrer la pointe au milieu ; puis il pratique l'ouverture centrale sans enlever de matière, en refoulant l'acier au moyen d'un marteau à panne conique ; il agrandit l'ouverture en forgeant avec un pilon ordinaire sur une enclume à épaulement latéral, et enfin il fait passer le bandage ébauché au laminoir qui le termine.

En France, MM. Petin, Gaudet et C° et MM. de Dietrich et C° exposaient des bandages en acier Bessemer ; MM. P. et E. Martin exposaient un bandage fait avec de l'acier fabriqué par leur procédé ; la locomotive *Pic-du-Midi* exposée par le chemin de fer du Midi était munie de bandages aussi en acier Martin.

En Angleterre, on trouvait des bandages en acier Bessémer (usine de Barrow), en acier Atlas (MM. J. Brown et C°),

Digitized by Google

en acier fondu au creuset (usines de Bowling et de Monkbridge). D'après M. Ashbury, les bandages pour wagon en fer du Yorkshire coûtent 55 francs les 100 kilogrammes, et ceux en acier fondu au creuset 87 fr. 50.

En Suède, les usines de Fagersta et de Surahammar; en Autriche, les chemins de fer de l'État et du Sud, l'usine impériale de Neuberg; en Prusse, les aciéries Krupp et de Bochum; en Belgique, l'usine de Seraing exposaient des bandages en acier fondu, surtout en acier Bessemer. M. Krupp prend un lingot d'acier de forme oblongue qu'il forge à plat et fend au milieu; puis, au moyen de coins, il l'étend en forme d'anneau. La société de Bochum coule en une seule pièce vingt ou trente bandages à la fois; cette pièce a la forme d'un cylindre creux avec ou sans bourrelet, dont le diamètre est environ le tiers du diamètre du bandage qu'on veut obtenir; on coupe ce cylindre en anneaux séparés que l'on développe par le martelage et le laminage; Bochum en 1867 avait fabriqué déjà 40 000 bandages. Les épreuves auxquelles avaient été soumis plusieurs des bandages exposés, soit en Allemagne, soit en Suède, montraient à quelle excellence et à quelle homogénéité de qualité on peut arriver avec l'acier fondu, et nous croyons que l'avenir appartient aux bandages fabriqués avec cette matière.

CHAPITRE SIXIÈME

FABRICATION DES FILS ET DES BANDES DE FER ET D'ACIER.

PREMIÈRE SECTION

Généralités sur les procédés.

On sait que le commerce distingue deux sortes de fils de fer, savoir : les *fils de fer ordinaires* ou *quincailliers* et les *fils de fer à cardes* ou *carcasses* (*cc*). Leurs dimensions se mesurent en France à l'aide de deux jauges différentes, savoir :

Digitized by Google

1° Pour les fils de fer ordinaires :

Numéros :	40	30	20	10	1
Diamètres :	200	100	44	15	6

(Les diamètres étant exprimés en dixièmes de millimètre.)

2° Pour les fils de fer à cardes :

Numéros :	10	20	25	30	35	36
Diamètres :	60	30	25	20	15	14

(Les diamètres étant exprimés en centièmes de millimètre.)

Les fils de fer ordinaires se fabriquent au moyen de billettes en fer puddlé ou en fer affiné qu'on transforme au laminoir à guides en *fer de tirerie* ou *fer machine*, c'est-à-dire en un petit fer rond qui peut ensuite, au moyen de deux ou trois passages à la filière, être transformé en fil si celui-ci est d'un diamètre égal ou supérieur au numéro 20 de la jauge, ou au moyen d'un plus grand nombre de passages, si le diamètre est moindre. En effet, on ne trouve pas en général avantageux de laminer le fer puddlé au-dessous du numéro 20, ou le fer au bois au-dessous du numéro 21. La fabrication des fils de fer ordinaires est devenue tout à fait du domaine des usines métallurgiques ; celles qui s'y livrent fabriquent elles-mêmes leur fer brut, et livrent au commerce leurs produits à des prix qui ne permettent plus guère à de simples tréfileurs de soutenir la concurrence. On ne peut pas citer de progrès très-notable dans les procédés eux-mêmes, sauf peut-être en ce qui concerne les recuits, que l'on a appris à faire d'une manière plus économique que par le passé, soit dans des fours chauffés par des chaleurs perdues, soit dans des fours chauffés à la houille. Mais, grâce aux perfectionnements du puddlage et de la fabrication des fontes, on emploie maintenant beaucoup plus de fers puddlés à la houille que de fers affinés au charbon de bois pour la fabrication des gros numéros de fils de fer ; les fers au bois sont réservés presque uniquement pour les numéros fins.

La Société des forges de Châtillon-Commentry, en France, exposait une pièce de rond laminé de 7 millimètres de dia-

Digitized by Google

mètre, ayant 402 mètres de long et pesant 125 kilogrammes; et une pièce de fil galvanisé pour télégraphe n° 21 mesurant 765 mètres de longueur.

En Angleterre, MM. Richard Johnson et neveu, de Manchester, exposaient une botte de fer rond n° 3 (de la jauge de Birmingham), ayant 6 millimètres et demi de diamètre, d'une longueur de 485 mètres et pesant 127 kilogrammes. Cette botte avait été obtenue avec un seul paquet laminé en une billette carrée de 33 millimètres de côté et de 18 mètres de longueur, enroulée à la même chaude en serpentin, afin qu'on puisse l'introduire dans un four à réchauffer chauffé par le système Siemens. A la porte même du four, le bout de la billette peut être engagé dans la première cannelure d'un laminoir spécial; la billette est extraite du four par la traction même de l'appareil. Pendant l'opération, une partie du fer est encore dans le fourneau, alors que l'autre bout, laminé à 6 millimètres et demi de diamètre, est déjà fini et enroulé. Pour la pièce exposée, le réchauffage a duré sept minutes et le laminage trois minutes. La puissance du train permet, dit-on, de fabriquer plus de 100 tonnes par semaine. On établit une installation importante pour faire des longueurs encore plus grandes de fil télégraphique.

La tréfilerie fine, c'est-à-dire la fabrication des numéros fins pour épingles, broches, etc., et des fils carcasses, n'emploie que des fers affinés au bois. On descend les fils depuis les gros numéros jusque vers le numéro 10 par les procédés de la grosse tréfilerie, et à partir de ce numéro on opère avec des appareils plus délicats et précis : bobines verticales à chapeau, filières plus exactes, etc. Pendant longues années, les tréfileries anglaises des environs de Halifax et de Bradford eurent le monopole de la fabrication de ces fils fins, grâce surtout à leur emploi de bonnes marques de fers de Suède ; mais depuis quelque temps déjà les procédés anglais ont été importés en France, les fabricants indigènes ont appris à connaître les fers de Suède, et aussi à employer quelques espèces de fers au bois de Comté, et maintenant les tréfileries des départements des Vosges et de l'Orne sou-

Digitized by Google

tiennent honorablement la concurrence étrangère. Si la France reçoit encore d'Angleterre quelque peu de fil de fer pour cardes, cela tient uniquement aux préventions des filateurs, qui n'ont pas encore oublié combien autrefois les fils français étaient inférieurs aux fils anglais. Les qualités essentielles des fils à cardes sont l'élasticité, le poli, l'exactitude du diamètre et la perfection du dressage. Une usine française surtout, la tréfilerie de la Chaudeau, près Plombières, appartenant à M. de Mandre (1200 bobines et 200 tréfileurs), les mettait en relief d'une façon remarquable à l'Exposition de 1867.

La tréfilerie d'acier a été et est encore presque exclusivement une industrie anglaise. MM. Cocker et fils, de Sheffield, ont été parmi les premiers à fabriquer du fil d'acier. Les procédés sont à peu près les mêmes que ceux de la tréfilerie de fer, et ne diffèrent que par la manière dont se font les recuits. Chez MM. Cocker, dit-on, on trempe le fil de fer encore rouge, sortant du four à recuire, dans un bac d'eau bouillante. Une des parties les plus intéressantes de cette industrie est la fabrication du fil à pignons, qui, coupé par petits bouts, fournit les pignons des montres et des pendules ; il doit être nécessairement de dimensions très-précises, et, malgré sa petitesse, il compte souvent jusqu'à douze cannelures. Le fil pour ressorts spiraux de montres est d'une finesse presque idéale : 1 kilogramme fournit une longueur de plus de 30 kilomètres. Les fils pour aiguilles, pour hameçons, les cordes harmoniques sont encore des branches de cette industrie, qui jusqu'à présent s'est peu répandue en France, où les ouvriers se forment difficilement au travail patient et méticuleux qu'elle exige. Toutefois je dois citer deux maisons françaises qui figuraient avec honneur à l'Exposition de 1867 : *MM. Peugeot, Jackson et C*°, de Pont-de-Roide (Doubs), avaient une très-belle collection de fils d'acier, de ressorts de montres et de pendules, d'aciers étirés creux pour montures de parapluies (*paragons Fox*); *MM. Juillard et Amstoutz*, de Meslières (Doubs), exposaient des aciers à pignons à 6, 7, 8, 10 et 12 ailes en longues pièces (150 mètres),

Digitized by Google

du fil d'acier fin comme un fil de soie pour le forage des rubis d'horlogerie, une verge d'acier fondu rond percée sur 70 centimètres de longueur suivant son axe, par un procédé particulier.

Quant à la fabrication des feuillards et des rubans d'acier, je n'ai aucune particularité à signaler.

DEUXIÈME SECTION

Produits exposés.

FRANCE. — La tréfilerie française occupe peut-être la première place, grâce aux qualités spéciales de beaucoup de nos fers indigènes ; toutes nos grandes usines fabriquent des fils de fer au moins des gros numéros. Ainsi *MM. Boigues, Rambourg et Cᵉ* font à Fourchambault des fils télégraphiques en fer puddlé et en fer forgé, des fils quincailliers noirs, galvanisés et étamés, des fils pour câbles en acier Bessemer, des feuillards en fer forgé au bois : j'ai remarqué à l'Exposition une botte de fil de 6/10 de millimètre de diamètre en fer à fin grain puddlé, longue de 10 958 mètres et pesant 24 kilogrammes. Les *forges de Châtillon et Commentry* tréfilent à Sologne, à Vierzon, à Sainte-Colombe, et fabriquent des fils forgés clairs, recuits ou galvanisés ; des fils plats, carrés, triangulaires, demi-ronds ou ovales ; en un mot, toute la série des produits : j'ai remarqué un fil nº 27, d'une longueur de 12 441 mètres, et pesant 2 kilogrammes. Cette société fabrique aussi un produit très-remarquable : c'est le feuillard *gironné*, c'est-à-dire laminé excentriquement, de façon à prendre la forme conique du tonneau, sans travail ultérieur du tonnelier : elle en exposait qui avaient jusqu'à 80 millimètres de largeur, de même que des feuillards ordinaires (dont un de 200 × 4 millimètres, pesant 99 kilogrammes en fer au bois de Tronçais) et des aplatis pour cuves. Les *forges d'Alais* exposaient des feuillards en fer fin à la houille ; celles d'*Abainville*, des feuillards et des ronds de tréfilerie. La *Société des forges et fonderies de Franche-Comté* possède six usines à tréfiler ; elle fabrique des fils à cardes,

Digitized by Google

des fils à câbles, des fils télégraphiques galvanisés, des fils ordinaires galvanisés ou étamés, des ressorts de sommier, etc., j'ai remarqué un fil galvanisé n° 16 pour câbles de 1 368 mètres de longueur, pesant 60 kilogrammes. Les *forges de Gueugnon* (MM. Campionnet et C°) exposaient aussi des fils de fer clairs.

En dehors des grandes usines qui produisent toutes natures de fers marchands, il existe un certain nombre de forges importantes qui ont la spécialité de la fabrication de ces produits étirés. Je citerai :

Dans le groupe sud-est, les *forges d'Onzion* (Loire), à MM. Thiollière et C°, qui avaient une intéressante exposition de feuillards et de fils de fer. On pouvait y remarquer des feuillards minces de grande largeur (35 millimètres de largeur sur sept dixièmes de millimètre d'épaisseur, et 55^{m},40 de longueur, 100 millimètres sur 1 millimètre, par exemple), des fils de fer ordinaires et fins (entre autres, une botte de 67 kilogrammes en numéro 21), une botte machine de 90 kilogrammes en numéro 24 (6 millimètres et demi de diamètre), tous ces produits fabriqués en fer puddlé fin ;

Dans le groupe sud-ouest, les *forges de Larivière* (Haute-Vienne), à MM. Bouillon et fils et C°, où l'on fabrique avec des fers affinés au bois, cinglés et étirés au laminoir, des ronds de tréfilerie d'un poids considérable (50 à 55 kilogrammes), ce qui démontre la bonne qualité du fer et l'habileté des lamineurs. Ces fers ronds sont transformés en fils de fer quincailliers, clairs, recuits ou galvanisés, pour les usages ordinaires de l'industrie et du commerce. MM. Bouillon et C° exposaient, entre autres, des fils *forts clairs*, en longs bouts de 30 à 50 kilogrammes (1), pour ponts suspendus, pour câbles de mines, pour ressorts de métiers mécaniques, pour fourchettes de parapluie, pour fabriques de fils à cardes ; des fils *doux clairs* pour fil à laminer, pour dents de

(1) Entre autres, une botte de fil n° 1 (diamètre, 0^{mm},6) pesant 31 kilogrammes, longue de 14 136 mètres, et résistant à 120 kilogrammes par millimètre carré.

Digitized by Google

peignes de tissage, pour aiguilles à coudre, épingles, hameçons, chapelets, clouterie mécanique, becquets, etc.; des fils *doux recuits* pour gréement de navires, culture de la vigne en cordons, toiles mécaniques, clôtures, grillages, rivets, fleuristes, modes, serrurerie, layetiers, etc.; des fils *doux forts galvanisés*, en longs bouts de 40 à 50 kilogrammes, pour câbles de mines, armatures de câbles télégraphiques sous-marins, travaux de jardins, échalassement des vignes, etc.; des fils *doux recuits galvanisés* pour télégraphie électrique, câbles d'amarres, etc. Cette série indiquait d'une façon intéressante tous les usages actuels des fils de fer;

Dans le groupe de Champagne, les *forges d'Eurville* (Haute-Marne), à MM. Bonnor, Jamin, Bailly et Cᵉ, qui exposaient des fers machine pour télégraphes, savoir:

Diam., 3	mill.	Résistance à la traction,	290 kil.	Résistance à	24	pliages.
— 4	—	—	290 —	—	17	—
— 5	—	—	780 —	—	12	—

(Id. pour télégraphe sous-marin) 1500 kil. Résistance à la torsion, 18 tours, se pliant sans criquer en coque de 6 millimètres.)

Les *forges de Donjeux* (Haute-Marne), à M. Bonnor jeune, qui exposait des feuillards (le plus large avait 75 millimètres sur 0ᵐᵐ,75) pliés et repliés comme des bandes de papier; les *forges du Manois*, à MM. de Beurges, qui font des fers à câbles, des ronds de tréfilerie et des feuillards en fer au bois (ils exposaient, entre autres, une botte de fil nᵒ 2, longue de 10 100 mètres, pesant 29 kilogrammes et demi; un feuillard de 160 millimètres sur 1); *l'usine de Gué* (Meuse), à M. A. Marey;

Dans le groupe nord-ouest, la *tréfilerie de Rugles* (Eure), au comte d'Albon;

Dans le groupe de Comté, les *forges de la Ferrière-sous-Jougne*, à MM. Vandel aîné et Cᵉ, qui fabriquent des fils de fer au bois pour câbles, pour cardes, etc.

Il nous reste à parler de quelques tréfileries qui fabriquent spécialement des fils fins pour cardes et qui forment deux groupes particuliers. Sur la limite des départements de la

Digitized by Google

Haute-Saône et des Vosges, dans la vallée de la Semouse, se trouvent la *tréfilerie de la Chaudeau*, à M. de Mandre, et celle *du Blanc-Murger*, à MM. Daubié et Cᵉ. La première, dont j'ai déjà parlé plus haut, occupait certainement le premier rang à l'Exposition parmi les usines similaires ; ses bottes de fils à cardes en fer de Suède, d'une magnifique nuance bleue claire, rappelaient la soie par leur finesse et leur pureté. On remarquait surtout quatre bottes, savoir :

	Longueur.	Poids.
Fil rond nº 28.	32 000 mètres.	8ᵏ,500
— — 26.	30 000 —	10 ,000
— — 22.	23 000 —	11 ,000
Fil triang.— 24.	8 500 —	4 ,000

qui prouvaient la ductilité de la matière employée et l'habileté de la main-d'œuvre. Les forges du Blanc-Murger fabriquent, avec des fontes fines au coke de Saint-Louis, des fers spéciaux pour cardes et fers à laminer, qui ont un beau grain demi-fin donnant un nerf argentin dans le coup de tranche ; elles exposaient, entre autres, une botte de fil à cardes nº 30, longue de 17 226 mètres et pesant 4ᵏᵍ,100, sans parler de fils ovales, triangulaires et carrés.

Dans le département de l'Orne, il faut citer d'abord les *usines de Gondrillers et du Moulin-Rouge*, près Laigle, à MM. Bernard Fleury et Fournier, qui exposaient de très-remarquables produits pour peignes à tisser, pour épingles, pour cardes, des fils plats et triangulaires, des fils recuits pour fleurs artificielles (j'ai remarqué du fil à cardes étamé nº 28 et une botte de numéro 48, qui était le plus fin). M. Bouvry, des *forges de Randonnai*, exposait des fils d'acier, des fils de fer à cardes et des aiguilles à tricoter.

Le docteur Emile Delacroix, de Besançon, exposait un système de *filière étameuse et zingueuse à système ascensionnel*, breveté en 1866. MM. E. Boucher et Cᵉ, de Fumay, exposaient des fils de fer zingués et cuivrés par un procédé à eux qu'ils ont cédé à M. Lecocq, de Paris, et à la Société de la Vieille-Montagne.

Digitized by Google

GRANDE-BRETAGNE. — La section anglaise présentait quelques expositions intéressantes.

La grosse tréfilerie était représentée par :

MM. Richard Johnson et neveu, de Manchester, dont j'ai parlé plus haut, et qui exposaient aussi un fil télégraphique de 3 millimètres (n° 11) pesant 43 kilogrammes et long de 722 mètres ;

MM. Sharp, Brown et C°, de Birmingham, qui exposaient toute une série de fils, des ressorts de sommiers et des fils recouverts de coton en bobines et en bottes plates ;

L'usine de *Eagle Iron Works*, à Hollinswood, et celle de *Trench Iron Works*, à Wellington Salop, toutes deux dans le Shrosphire.

La tréfilerie fine était représentée par *MM. Everitt et fils,* de Birmingham, qui exposaient des fils clairs et des fils recuits d'une finesse inouïe en bobines (les plus fins de l'exposition, nous a-t-il semblé), et par *MM. Frédéric Smith et C°*, de Halifax. Ces derniers montraient une série des divers laminages et tréfilages, depuis une pièce de fer de 8 pouces et quart de longueur, pesant 20 livres, jusqu'au numéro le plus fin, dont 1 livre à 5 milles et demi de longueur ; le tréfilage commence au numéro 6 ; ils avaient une botte de fil conique ayant n° 2 à un bout et n° 50 à l'autre bout, puis des fils recouverts de coton ou soie (*guipés*) pour formes de chapeaux de dames et fleurs artificielles.

Deux maisons représentaient la tréfilerie d'acier : *MM. Shipman et C°*, de Sheffield, (barres octogones, carrées et rondes, fil rond de toutes dimensions, acier étiré à pignons, paragon pour parapluies, carré, creux, acier à crinolines ou fils plats bleuis, cordes et câbles en acier fondu, aiguilles à tricoter, etc.), et *MM. Webster et Horsfall*, de Birmingham (lingots, barres martinées, ronds de tréfilerie en acier tréfilé sans recuit du numéro 3 au numéro 11 de la jauge de Birmingham, câble télégraphique atlantique de 1865, cordes de pianos, cordes pour agrès de navires, fil pour aiguilles, hameçons, etc.).

BELGIQUE. — La fabrication du fil de fer a reçu de grands

Digitized by Google

développements dans ce pays depuis quelques années. C'est la maison Orban qui l'importa la première en 1844 dans ses établissements de Grivegnée, où elle fit venir des ouvriers français pour l'installer. Cette maison a porté la tréfilerie à un haut degré de perfection; elle fabrique elle-même les fers au coke spéciaux pour les gros fils, et fait également des fils fins pour cardes, en y employant des fers de Suède. C'est, paraît-il, la seule fabrique belge qui en produise, et elle n'avait pas exposé.

Depuis une vingtaine d'années, plusieurs autres tréfileries ont été créées à Liége, à Bruxelles, etc., et exportent en concurrence avec les produits anglais et français. A l'Exposition de 1867 figuraient *MM. P. de Bavay et C*e, *MM. Keyser Rinsfeldt, MM. V. Lesage et C*e, de Bruxelles, *MM. J.-F. Jowa et C*e, de Liége. Les forges de Montigny et Zone exposaient des ronds de tréfilerie et des feuillards, mais pas d efils.

Prusse et Allemagne du Nord. — Il faut citer en première ligne la grande usine de *MM. Hobrecker, Witte et Herbers*, à Hamm (Westphalie), qui comprend 21 fours à puddler, 3 fours à réchauffer, 3 trains à guides, 76 grosses bobines, 300 petites bobines et 120 bobines pour fil à cardes, sans parler des appareils de galvanisation et des machines à pointes, et qui ne fabrique que du fil de fer (45 tonnes par jour) et des pointes (7 tonnes et demi par jour); cette usine, fondée en 1856 seulement, exporte des produits de toute espèce. On trouve également à Hamm la fabrique de *MM. Cosack et C*e, fondée en 1854, qui comprend 26 fours à puddler et produit annuellement environ 500 tonnes de fils par four à puddler en feu. Ces industriels exposaient, avec leurs produits, un appareil destiné à faire apprécier la résistance de leurs fils à la traction et à la torsion : un fil n° 18 ($3^{mm},4$ de diamètre) a supporté, pendant toute la durée de l'Exposition, une charge de 531 kilogrammes et n'aurait cassé qu'à 770 kilogrammes; un bout de 15 centimètres du même fil pouvait être tordu jusqu'à 28 fois autour de son axe sans se rompre. MM. Cosack et Ce exportent au loin leurs excellents produits

Digitized by Google

sous toutes sortes de formes. En outre, *MM. Krieg et Tigler*, de Wesel, *MM. Dresler senior*, de Kreutzthal, près Siegen (210 bobines fournissant annuellement 1 800 tonnes de fils), l'*usine de Rothe-Erde*, près Aix-la-Chapelle, fabriquent des fils de fer. On voit que la Prusse rhénane a la spécialité des tréfileries.

A Altona, se trouve une tréfilerie d'acier de *MM. Rump fils.*

Le Wurtemberg possède cinq tréfileries de fer au bois, dont les plus importantes sont à Esslingen, Goppingen, Ludwigsberg et Biberach.

Autriche-Hongrie.—Quelques exposants représentaient la tréfilerie autrichienne, mais ils n'avaient rien de très-saillant comme produits. Je citerai en Styrie les *usines de Büchsengut* (M. Furst) *et de Thoerl* (M. Pengg), près Aflenz; l'*usine de Kremz* (comte de Meran), près Gratz; en Carinthie, l'*usine de Schwarzenbach* (comte de la Tour); dans la haute Autriche, l'*usine de Josephthal* (M. Franz Hueber). L'usine impériale de Neuberg exposait des fils d'acier fabriqués à Saint-Egidi avec son acier Bessemer doux.

Suède. — La Suède est le pays par excellence des fers de tréfilerie; ses excellentes billettes fabriquées par la méthode Lancashire sont connues dans toute l'Europe et n'ont pas encore trouvé de rivales pour la ductilité et l'homogénéité, notamment celles qui proviennent des minerais de Persberg. Il existe quelques tréfileries en Suède même, notamment à Lesjœfors, Gunnebo, Gammelbo, Svana et Nissafors, qui exposaient des fils de fer. Les usines de Fagersta et de Carlsdahl exposaient de remarquables fils en acier Bessemer de leur fabrication.

Russie. — La section russe n'avait qu'un seul exposant, dont les produits indiquaient une fabrication soignée et une matière première excellente; *MM. Balascheff frères* (usine de Novo-Nikolskoë, gouvernement de Novgorod) traitent des fer de l'Oural et en font des fils quincailliers et carcasses de tous numéros, clairs, cuivrés et galvanisés.

Digitized by Google

CHAPITRE SEPTIÈME.

FABRICATION DES TUBES ET FERS CREUX.

PREMIÈRE SECTION

Généralités.

Jusqu'il y a peu d'années encore, on ne connaissait pas d'autre moyen, pour obtenir des tubes en fer, que d'enrouler une bande métallique et d'en souder les deux bords longitudinaux, soit par rapprochement, soit par recouvrement. Cette fabrication elle-même n'est pas de date très-ancienne ; avant 1825, on n'employait guère de tubes en fer que pour les canons de fusil, et on les forgeait en les soudant à la main et au marteau par des procédés peu économiques. En 1825, un industriel de Wesnesbury, Whitehouse, imagina de souder les tubes en les faisant passer à la filière ou au laminoir, et il dota ainsi sa ville natale d'une industrie florissante encore maintenant, puisque la famille Russell y possède actuellement plusieurs usines importantes. L'invention de l'éclairage au gaz et l'application des tubes en fer à la distribution de ce fluide ouvrirent à l'industrie des fers creux de vastes et nouveaux débouchés. Les procédés de Whitehouse ont subi des perfectionnements depuis 1825, mais ils n'ont pas été essentiellement modifiés. M. Gandillot les a introduits en France en 1829. Les tubes soudés à la filière servent pour les conduites de gaz et d'eau, pour les appareils de chauffage, les travaux de serrurerie (grilles, balcons, rampes, meubles, tuteurs pour jardins, lanternes de noyaux pour fonderie, etc). Pour les canons de fusil et pour les tuyaux qui doivent supporter des pressions intérieures élevées, comme les conduites de vapeur ou d'eau forcée, on emploie le soudage par recouvrement, qui s'effectue par le laminage sur mandrin.

Lorsque les nouveaux procédés de fabrication de l'acier

Digitized by Google

eurent permis d'obtenir à des prix abordables un métal suffisamment doux et homogène pour être étiré à froid, on chercha le moyen de fabriquer des tubes étirés sans soudure en métal homogène.

M. Christophe, de Paris, y parvint l'un des premiers en employant de l'acier fondu doux ; il forgeait un bout de barre rond qu'il perçait à la machine d'un trou plus gros que le trou définitif, puis il l'étirait à la presse hydraulique en fixant au pot de presse une extrémité de la barre et au piston l'autre bout de la barre, et en la faisant passer dans une filière munie d'un mandrin central ayant le diamètre intérieur du tube. Associé en Angleterre avec MM. Harding et Hawksworth, il créa une usine qui fabriquait des tubes en acier étiré à froid à intérieur cylindrique et à épaisseur constante ou variable. J'ignore ce qu'est devenue cette usine. En France, MM. E. et P. Martin, de Sireuil, ont modifié le procédé Christophe en laminant d'abord à chaud le tube ébauché, en l'alésant et en l'étirant à froid sur mandrin seulement pour finir ; de cette façon on économise du temps et les recuits nombreux nécessaires dans l'étirage à froid. MM. Martin avaient exposé des canons de fusil Chassepot fabriqués par ce système et témoignant d'une remarquable ténacité. M. Guettier avait exposé des tubes de petits diamètres en acier étiré fabriqués par le procédé Christophe.

Mais cette fabrication à la presse hydraulique est longue et coûteuse. Un Anglais, M. Thompson, inventa un procédé perfectionné depuis par MM. Deakin et Johnson, et avec lequel on obtient plus rapidement et plus économiquement des tubes en acier de tous diamètres, depuis les gros tubes destinés à former l'âme des canons Armstrong jusqu'aux canons de fusil du plus petit calibre. Dans ce procédé, on commence par faire un cylindre plein d'acier dans lequel on perce un trou central sans perte de matière, au moyen d'un marteau poinçonneur représenté pl. XL, fig. 1, 2 et 3. Après avoir d'abord un peu allongé ce cylindre en le forgeant sur un mandrin, on l'étire à chaud en l'enfilant sur une tige munie d'un mandrin en olive, mandrin qui détermine le

Digitized by Google

diamètre intérieur du tube et qui est placé au centre d'une cannelure ronde; celle-ci est pratiquée dans deux cylindres parallèles, et suivant que sa profondeur est constante ou variable sur le développement des cylindres, on obtient un tube à parois parallèles ou à profil extérieur conique (voir pl. XL, fig. 4 et 5). Au sortir de ce laminoir, on dresse le tube en le faisant rouler entre deux marbres dont l'un est suspendu ainsi que le montrent les figures 6 et 7. Par ce procédé Deakin et Johnson, l'usine de sir John Brown, à Sheffield (Atlas Works), fabriquait en 1867 des tubes de tous diamètres, et déclarait pouvoir livrer quinze mille canons de fusil par semaine. Elle exposait de magnifiques tubes de gros diamètres fabriqués avec son acier doux dit *Atlas metal*, et un essieu de chemin de fer creux.

Quel que soit le système d'étirage adopté, à la filière ou au laminoir, la fabrication de ces tubes d'acier sans soudure exige un métal parfaitement homogène, d'une douceur et d'une tenacité considérables.

L'artillerie française n'admet pas, pour la construction des fusils Chassepot, des tubes d'acier étirés : les canons doivent être forgés pleins et ensuite forés, alésés, tournés et dressés. MM. Petin, Gaudet et Cᵉ exposaient une belle série de canons de fusil en acier fondu : c'est à leur usine d'Assailly qu'appartient l'honneur d'avoir commencé en 1860 cette fabrication. Ces mêmes industriels fabriquent leurs tubes de canons en coulant un lingot creux qu'ils forgent ensuite sur un mandrin en fer qui reste engagé dans le canon, et qu'on enlève ensuite au forage, qui se fait rapidement et aisément, puisque l'outil travaille dans du fer.

DEUXIÈME SECTION.

Produits exposés.

FRANCE. — La fabrique la plus connue est celle de *MM. Gandillot et Cᵉ*, à Saint-Denis, près Paris. La maison Gandillot a importé en France l'industrie des fers creux, et lui a trouvé de nouveaux et importants débouchés dans les

Digitized by Google

travaux de serrurerie (grilles, balcons, rampes d'escalier) et dans d'autres applications, telles que les meubles, les tuteurs pour jardins; à l'Exposition de 1867, on voyait une application nouvelle des fers creux à la construction d'échelles simples et d'échelles doubles peintes en imitation de bambou et remarquables par leur bon marché. A l'origine, on n'employait les fers creux que pour conduites de gaz, d'eau, de vapeur; MM. Gandillot et C° fabriquent toujours ces tuyaux de conduite en fer éprouvés à 15 atmosphères et d'un diamètre variant de 5 à 50 millimètres intérieurement, avec toutes les pièces de raccord, manchons, tubulures, coudes, etc., sans parler des tuyaux hors calibre d'un diamètre supérieur à 50 millimètres et inférieur à 160 millimètres. Une fabrication plus récente, celle de *MM. Mignon, Rouart et Delinières*, dont les usines sont à Montluçon et à Saint-Denis, tenait à l'Exposition une place au moins aussi honorable que celle de MM. Gandillot et C°. Ces nouveaux fabricants ont une série de tuyaux de conduite plus complète dans les gros diamètres et allant jusqu'à 80 millimètres, et fabriquent sur commande des tubes jusqu'à 170 millimètres, des appareils et serpentins de toutes formes et des tubes pour presses hydrauliques; pour les locomotives, les chaudières tubulaires et les transmissions de vapeur, ils ont une série spéciale de tubes soudés à recouvrement jusqu'à 175 millimètres de diamètre extérieur.

M. Boutevillain, de Paris, fabrique également des tuyaux pour chaudières à vapeur et pour conduites d'eau ou de gaz.

Mais les industriels français ne paraissent pas avoir encore entrepris la fabrication des gros diamètres. Un des spécimens les plus intéressants exposés par eux était le serpentin conique en tuyau décroissant, de MM. Mignon, Rouart et Delinières.

Grande-Bretagne. — Wednesbury a conservé sa vieille réputation pour les tubes en fer. *MM. John Russell et C°* y possèdent toujours l'usine de Old Tube Works, à laquelle ils ont associé celle de Alma Tube Works à Walsall; ils fabriquent depuis 1816 des tubes en fer étiré, et ont été les in-

Digitized by Google

venteurs des tubes soudés par recouvrement pour chaudières de locomotives et chaudières marines. *MM. James Russell et C*e (Crown Tube Works), aussi de Wednesbury, avaient aussi une exposition remarquable dans laquelle j'ai distingué des tubes en métal homogène et en acier Bessemer, ainsi que des tubes torses. Ces maisons anglaises fabriquent avec une remarquable régularité des tubes même d'un très-gros diamètre ; ils atteignent 9 pouces (229 millimètres) et même 18 pouces (457 millimètres). Depuis quelques années elles fabriquent aussi des tubes décroissants que l'on emploie dans certains pays comme poteaux télégraphiques. Pour les tubes destinés à résister à des pressions intérieures considérables, MM. Russell ont obtenu une résistance de 200 atmosphères et même, dans quelques-uns, de 500 atmosphères, dit-on. La fabrication des tuyaux décroissants ou coniques est nouvelle, mais je ne puis donner aucun renseignement sur son compte.

D'autres maisons anglaises, comme *MM. John Brotherton et C*e (Imperial Tube Works), de Wolverhampton, *MM. Lloyd et Lloyd* (Albion Tube Works), de Birmingham, *MM. Lambert frères* (Alpha Tube Works), de Walsall, la *Birmingham Patent Tube Company*, exposaient encore des tubes en fer étirés et soudés. La *Hydraulic Tube Drawing Company* exposait des tubes d'acier sans soudure étirés à froid par le procédé Christophe.

Italie, Allemagne, etc. — En Italie, la maison *Cambiagio et C*e, de Milan, fabrique des tubes sans soudure de formes ronde, carrée, octogone, elliptique, demi-ronde, avec lesquels elle construit des meubles, châssis de fenêtres, etc.

MM. Ropolo et fils, de Turin, font aussi des fers creux. Nous n'avons pas trouvé dans d'autres pays de produits fabriqués se rapportant à l'industrie qui nous occupe.

Digitized by Google

Digitized by Google

POSTFACE.

Avant de laisser paraître cette dernière partie d'un travail consacré dans l'origine à l'Exposition universelle de 1867, et qui ne voit le jour qu'en 1872, il convient que l'auteur donne aux lecteurs de la *Revue* qui ont bien voulu s'intéresser à l'achèvement de son œuvre, quelques explications sur un retard aussi prolongé. La *Revue de l'industrie du fer en* 1867 eût été prête à paraître complétement à la fin de 1869, si l'auteur avait cru pouvoir se contenter de l'examen critique des produits exposés au Champ de Mars ; mais il a voulu essayer de faire pour les fers et les aciers ce qu'il avait fait pour les minerais et les fontes, c'est-à-dire étudier méthodiquement et comparativement les procédés comme les produits dans les diverses contrées métallurgiques. Ce programme était difficile à remplir, surtout dans le siècle de changements et de perfectionnements où nous vivons ; et l'auteur, voyant le champ de son travail s'élargir à chaque instant, a plus d'une fois désespéré d'atteindre convenablement son but. Enfin, au milieu de 1870, la *Revue de l'industrie du fer*, non plus *en* 1867, mais mise au courant *jusqu'à* 1870, était prête à être livrée à l'impression lorsque les terribles événements politiques sont venus arrêter l'auteur et l'éditeur. Elle paraît donc maintenant avec un retard d'un an et demi environ ; l'auteur n'a pas cru nécessaire de remanier beaucoup son travail primitif, et il espère que, malgré le retard dans la publication, sa *Revue* présente encore un tableau assez exact de la situation de la grande industrie sidérurgique ; mais il doit solliciter l'indulgence des lecteurs pour un travail qui a du être écrit presque au courant de la plume au milieu d'autres occupations absorbantes.

Toutefois, avant de la clôturer, l'auteur veut encore

Digitized by Google

inscrire dans cette *Revue* deux faits considérables qui appartiennent à une époque toute récente, le commencement de 1872, à savoir : l'importation en Europe du système de puddlage mécanique inventé par M. Danks et l'extension énorme prise par la fabrication des aciers fondus.

Puddlage mécanique, système Danks. — Nous avons exposé, p. 258 et suivantes, les diverses tentatives qui avaient été faites pour résoudre l'important problème du puddlage mécanique. La question en était là, lorsqu'en août 1871, dans une réunion des maîtres de forges anglais tenue à Dudley, un Américain, M. Samuel Danks, décrivit un four à puddler rotatif de son invention, avec lequel il obtenait des rendements et des qualités de fer préférables aux résultats du puddlage manuel. Son four ressemble considérablement à celui de M. Menelaus, tellement qu'au premier abord plusieurs maîtres de forges se montrèrent incrédules, ne comprenant pas pourquoi il aurait réussi là où M. Menelaus avait échoué. Mais des témoignages authentiques établissaient les bons résultats des fours Danks, et les maîtres de forges anglais, sur la proposition de M. Menelaus lui-même, choisirent de suite trois délégués qu'ils chargèrent d'aller aux États-Unis vérifier les faits annoncés par M. Danks et essayer si son mode de travail s'appliquerait aux fontes anglaises. Ces délégués partirent au commencement d'octobre après avoir expédié en Amérique des fontes de quatre provenances différentes et une série des diverses matières disponibles en Angleterre pour le garnissage des soles de fours à puddler. Le 12 décembre, ils rédigeaient à Washington leur rapport, qu'ils expédiaient à leurs commettants, après l'avoir fait précéder d'un télégramme annonçant le succès. Avant même leur retour, des maîtres de forges de Middlesborough, MM. Hopkins, Gilkes et C°, construisirent un four Danks qui fut mis en roulement en février et qui fournit de suite des résultats hautement satisfaisants. L'assemblée générale des 19, 20 et 21 mars 1872, à laquelle l'auteur a assisté, a eu pour but principal la communication et la discussion des rapports des délégués et des résultats obtenus soit par eux aux États-Unis

Digitized by Google

avec les fontes emportées d'Angleterre, soit par MM. Hopkins, Gilkes et Cᵉ à Middlesborough. L'auteur a vu les produits du puddlage Danks et a entendu les métallurgistes les plus compétents déclarer que la nouvelle invention était *un succès*.

L'appareil Danks ressemble considérablement au four rotatif de M. Menelaus : il n'en diffère même que par la nature du garnissage, qui, au lieu d'être la pierre d'achoppement du système, est devenu une des causes principales du succès. En voici une description sommaire :

Le four Danks comprend, comme tous les fours à puddler, une chauffe, un laboratoire et un rampant ou carneau communiquant avec la cheminée. La chauffe, qui est fixe, a la disposition ordinaire d'un foyer soufflé au-dessous de la grille, avec toquerie et cendrier fermés par des portes en fonte. La cheminée est placée latéralement, de sorte que la flamme, en sortant du laboratoire, se dirige horizontalement en retour d'équerre par le rampant qui conduit à cette cheminée ; le sommet de cet angle droit est mobile et peut être enlevé avec une petite grue, de sorte qu'on peut alors facilement atteindre l'intérieur du laboratoire. Celui-ci, construit en tôle, a la forme d'un cylindre à axe horizontal se raccordant avec la chauffe et avec le rampant par deux cônes tronqués très-aplatis : au moyen d'un engrenage, il peut être mis en rotation autour de son axe en roulant sur deux paires de galets ; les joints avec les parties fixes se font au moyen de deux couronnes en fonte ajustées. Le laboratoire présente à son intérieur des nervures longitudinales très-saillantes et dirigées suivant des plans diamétraux ; ces nervures servent à retenir le garnissage dans leurs intervalles en forme de queue d'aronde, et à le refroidir, grâce à la conductibilité du métal. Ce garnissage est fait en deux épaisseurs distinctes. La première, la *chemise* du four, pour ainsi dire, est composée d'un mélange de minerai de fer non siliceux pulvérisé et de chaux pure ; elle s'applique à froid et fait prise assez vite ; on en remplit complétement les intervalles des nervures. Pour faire le garnissage proprement dit, ce qui correspond à la sole et aux cordons du four

Digitized by Google

à puddler ordinaire, on jette dans le laboratoire du minerai de fer non siliceux pulvérisé, on chauffe et on fait tourner de façon à étendre sur toute la surface intérieure une sorte de glaçure ; puis on ajoute du minerai en morceaux qui s'agglomère et finit par former une couche raboteuse de matière durcie et oxydante, qui présente une grande surface à l'action de la fonte. On peut travailler huit à dix charges sans refaire ce garnissage ; quant à la chemise, sa durée est très-longue.

La charge de fonte (300 à 350 kilogrammes) est introduite, soit à l'état solide, soit après avoir été préalablement liquéfiée, ce qui est préférable, concurremment avec une assez forte proportion de scories riches. Pendant cinq à dix minutes, on fait tourner, à raison d'un à deux tours par minute ; au bout de ce temps, le métal commence à s'épaissir et on arrête le mouvement. On surélève un peu la température pour que la scorie, qui a absorbé le phosphore et le silicium de la fonte, soit bien fluide, et on la fait écouler par un orifice spécial. Le métal reste presque seul et découvert ; alors on fait tourner l'appareil à raison de six à huit tours par minutes ; le bouillonnement s'effectue, bientôt le fer prend nature et il se forme une grosse boule que l'on extrait ensuite par l'ouverture ménagée du côté du rampant. On cingle cette boule, de dimensions inusitées, dans un appareil rotatif de cinglage imaginé aussi par M. Danks, et on la lamine ensuite comme de coutume, soit en une seule barre, soit en la divisant en plusieurs pièces.

Les principaux avantages reconnus de ce système de puddlage sont les suivants : 1° le poids de fer brut obtenu est toujours supérieur à celui de la fonte chargée, grâce à la réduction d'une partie notable du fer contenu dans la scorie et dans le garnissage : avec 300 kilogrammes de fonte, on obtient jusqu'à 350 kilogrammes de fer quelquefois ; 2° on peut faire huit charges et même plus par poste de douze heures ; 3° l'économie de main-d'œuvre est considérable ; 4° la qualité du fer est souvent améliorée par le départ du phosphore dans la scorie évacuée, et elle paraît toujours au

Digitized by Google

moins égale à celle obtenue des mêmes fontes par le puddlage à la main.

D'après M. Jones, l'un des trois délégués, un atelier de puddlage, capable de produire 600 tonnes de fer brut par semaine et comprenant 50 fours à puddler ordinaires, avec les appareils de cinglage et de laminage nécessaires, coûte, dans le Cleveland, environ 820 000 francs. En construisant un atelier de même puissance d'après le système Danks avec 12 fours rotatifs, il coûterait 855 000 francs environ, soit seulement 4 pour 100 de plus. Le fer brut, coûtant 114 francs la tonne par l'ancien système, ne coûte plus que 100 fr. 50 par le nouveau ; l'économie réalisée est de 13 fr. 50, soit plus de 12 pour 100, sans craindre de grèves de puddleurs. M. Jones suppose les fours Danks munis de chaudières à vapeur comme les fours ordinaires.

Sans vouloir indiquer tous les changements importants que peut apporter dans la pratique des usines de fer le procédé Danks, nous ferons remarquer cependant d'abord qu'il permet de faire un rail en fer brut sans paquetage. Les échantillons de loupes, de fer brut, de fer marchand, de tôles, de fer rond de tréfilerie rapportés d'Amérique par les délégués et fabriqués par leurs soins avec les fontes anglaises qu'ils avaient emportées, étaient exposés à Londres pendant les trois jours du meeting et donnaient la plus haute idée de l'avenir de ce procédé, couramment employé déjà par un bon nombre d'usines américaines (à Cincinnati, à Pittsburg, à Indianopolis, par exemple).

Quant à son application à la fabrication de l'acier, et notamment à la fabrication par le procédé Martin-Siemens, l'action remarquablement déphosphorante qui a été constatée dans le procédé Danks permettra d'employer, pour l'acier fondu au four à réverbère, des fontes plus phosphoreuses que celles admises jusqu'à présent dans le procédé Bessemer ; par exemple, on pourra dissoudre dans le bain initial de fonte du procédé Martin-Siemens des fragments de boule provenant du four Danks et suffisamment déphosphorés pour fournir des aciers convenables.

Digitized by Google

Les métallurgistes anglais construisent en ce moment, paraît-il, un assez grand nombre de fours Danks, et beaucoup de personnes s'attendent à une révolution dans l'industrie du fer plus ou moins analogue à celle produite par M. Bessemer dans l'industrie de l'acier. Des ingénieurs et des maîtres de forges belges, allemands, suédois, espagnols, assistaient au meeting de Londres, et un grand nombre d'entre eux sont aussi allés à Middlesborough pour voir fonctionner le four chez MM. Hopkins, Gilkes et Cᵉ.

Développement de la fabrication de l'acier fondu. — Depuis le rétablissement de la paix, les aciéries françaises ont pris une importance considérable; leurs produits, tels que les rails d'acier fondu (Bessemer ou Martin), se sont vus recherchés par les consommateurs hongrois, suisses, russes, américains. Après des premières fournitures effectuées à des prix que ne pouvaient aborder les fabricants anglais, elles ont pu relever leurs prétentions en face de l'affluence des commandes et obtenir des conditions plus avantageuses. Ainsi que notre *Revue* le fait clairement ressortir, cette bonne situation des aciéries françaises est due uniquement à l'excellente qualité des minerais méditerranéens qu'elles trouvent à leurs portes. Les mines de Mokta-el-Hadid, de l'île d'Elbe, de la Garrucha, de Bilbao et autres, en Afrique, en Italie, en Espagne, fournissent des matières premières spécialement convenables pour la fabrication des fontes aciéreuses, et l'important groupe des usines du sud-est de la France s'y approvisionne presque exclusivement, comme nous l'avons dit ailleurs.

Les maîtres de forges anglais, belges et prussiens, qui jusqu'à ces derniers temps s'étaient peu préoccupés des minerais méditerranéens, ont eu leur attention puissamment surexcitée par les résultats obtenus par les usines françaises au sortir cependant d'une longue période de calamités. Aussi leurs agents ont bientôt paru en Espagne, en Afrique, en Italie, cherchant partout à arracher à l'industrie française, par une concurrence quelquefois efficace, les matières premières dont elle avait eu jusqu'à présent le privilége.

Digitized by Google

L'Angleterre et la Prusse ont d'autant plus besoin de minerais étrangers riches et purs, propres à la fabrication des fontes aciéreuses, que les ressources de leurs mines indigènes deviennent insuffisantes en présence de l'augmentation considérable du nombre des appareils Bessemer (augmentation facilitée par la péremption des brevets de l'inventeur) et du développement énorme de la fabrication de l'acier fondu. Aussi les maîtres de forges anglais ont-ils envoyé de tous les côtés des ingénieurs compétents étudier les ressources minérales des diverses contrées et les moyens d'extraire et d'apporter en Angleterre les minerais convenables à leur industrie. De puissantes compagnies se sont formées pour l'exploitation de gîtes ferrifères en Suède, en Espagne, en Amérique, et bientôt probablement on verra les aciéries anglaises reprendre avec éclat le premier rang dans leur spécialité, à moins que les industriels français, instruits par l'exemple, ne s'associent franchement eux-mêmes pour rivaliser avec leurs concurrents insulaires de hardiesse et de grandeur dans leurs exploitations à l'étranger et dans leurs entreprises de transports maritimes, si l'état politique de leur pays le leur permet. Mais, ainsi que nous l'avons déjà dit ailleurs, la puissance métallurgique de la Grande-Bretagne ne durera que jusqu'au moment, éloigné encore toutefois, où les Etats-Unis d'Amérique, ce pays privilégié entre tous par l'abondance et la qualité de ses minerais de fer, pourront par l'accroissement du nombre des travailleurs entrer en lice et apporter à l'Europe leurs produits métallurgiques. Nous écrivions en 1868 que la production de fonte de ce pays en 1866 avait été de 1 354 000 tonnes : en 1871, elle a dépassé 1 950 000 tonnes, s'étant ainsi accrue de près de 50 pour 100 en cinq années, malgré l'abaissement des droits de douane protecteurs.

Avril 1872.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

DU QUATRIÈME VOLUME

(Nos 9 et 10.)

Générateurs à vapeur

Par M. L. PERARD, ingénieur honoraire des mines, chargé des cours de physique à l'Université de Liége.

Pages.

AVANT-PROPOS. 1

CHAUDIÈRE sans rivets de MM. Imbert et Ce; foyer soudé au marteau de M. Durenne; pièces de chaudronnerie de M. Petry-Chaudoir; compensateur de dilatation Galloway; ajustage des tubes à feu, système Berendorff, système Langlois; appareils anti-incrustateurs Gargan, Backer; chaudières multitubulaires de MM. Thomas et Laurens, de MM. Farcot et fils, de M. Chevalier; types nouveaux de chaudières de M. de Carville aîné, de M. T. Holt, de M. Durenne. 3

CHAUDIÈRE tubulaire de MM. Meunier et Ce; chaudière à foyers intérieurs de M. Galloway; appareils fumivores Chodzko, Palazot, Tenbrinck, Grandperrin, Thierry, Turck. . . 25

GÉNÉRATEURS inexplosibles de M. Howard, de M. Belleville. 54

LOCOMOBILES. Locomobiles de MM. Maulde et Wibart, de MM. Hermann-Lachapelle et Glover, de M. Breval, de MM. Leleu et Clavier, de M. Auber, de M. Weber, de M. Enthoven, de M. Louis Jæger, de MM. Houget et Teston, de MM. Thomas et Laurens. Locomobiles Durenne, Artige, Ransomes et Sims, Ruston et Proctor, Ashby, Chevalier, Farcot, Calla, Tilkin, Deneffe, etc. 68

Digitized by Google

Revue de l'industrie du fer

Par M. S. JORDAN, ingénieur,
professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

DEUXIÈME PARTIE

FABRICATION DU FER.

Pages.
INTRODUCTION. 103

CHAPITRE I. — FABRICATION DU FER AU CHARBON DE BOIS.

AVANT-PROPOS 104
1re SECTION. — *France.* — Préliminaires. — Groupe de Comté. — Groupe du Centre. — Groupe du Sud-Ouest. — Groupe de Champagne. 109
2e — *Suède et Norwége.* — Préliminaires. — Méthode wallonne. — Méthode allemande. — Méthode comtoise. — Méthode à la Lancashire. — Méthode Rettig. — Fers de Suède. — Résistance des fers de Suède. — Fourneaux à gaz des forges suédoises. — Four à gaz de sciure de M. Lundin. — Marteaux des forges suédoises. — Données économiques. — Forges norwégiennes 117
3e — *Russie, Autriche, Italie, Espagne et Portugal.* 144
4e — *Angleterre, Belgique, Suisse, Russie et Allemagne, Etats-Unis d'Amérique* 152
5e — *Conclusion.* 157

CHAPITRE II. — FABRICATION DES FERS PUDDLÉS.

AVANT-PROPOS. 159
1re SECTION. — *France.* — Préliminaires. — Groupe du Sud-Est. — Groupe de la Moselle. — Groupe de Comté et des Alpes. — Groupe de Champagne. — Groupe du Nord. — Groupe du Centre. — Groupe de l'Ouest. — Conclusion 161
2e — *Angleterre.* — Préliminaires. — Groupe de l'Ecosse. — Groupe du Nord-Est. — Groupe des Lacs et du Lancashire. — Groupe du Centre. — Groupe du Staffordshire. — Groupe du pays de Galles. — Résumé. 181

Digitized by Google

Pages.

3e SECTION. — *Belgique.* — Préliminaires. — Groupe de Charleroi. — Groupe du pays de Liége. — Pays-Bas. . . . 199
4e — *Allemagne.* — Préliminaires. — Groupe de la Ruhr. — Groupe de l'Inde et de la Saar. — Groupe de Silésie. — Usines diverses. 206
5e — *Autriche, Italie, Espagne.* 215
6e — *Suède, Russie, Amérique.* 227
7e — *Du chauffage des fours à puddler.* — Préliminaires. — Chauffage à la houille.—Chauffage au lignite.— Chauffage à la tourbe. — Chauffage à l'anthracite. — Chauffage au bois, au gaz de bois, au gaz de lignite. — Chauffage avec les gaz de hauts fourneaux. — Chauffage au gaz, système Siemens. — Systèmes divers de chauffage. 232
8e — *Du puddlage mécanique.* 258
9e — *De quelques nouveaux systèmes de puddlage.* — Procédé Richardson. — Procédé Ellershausen. — Obtention du fer en grandes masses. 270

TROISIÈME PARTIE

FABRICATION DE L'ACIER.

INTRODUCTION. 277

CHAPITRE I. — FABRICATION DE L'ACIER FONDU AU CREUSET.

1re SECTION. — *Généralités sur la fabrication.* — Préliminaires. — Cémentation. — Fusion au creuset. — Etirage des aciers fondus en barres. 282
2e — *France* 292
3e — *Grande-Bretagne.* 296
4e — *Prusse et Allemagne du Nord.* 304
5e — *Autres Etats européens* 311

CHAPITRE II. — FABRICATION DE L'ACIER CORROYÉ.

1re SECTION. — *Généralités sur la fabrication.* — Affinage pour acier au bas foyer. — Puddlage pour acier. — Corroyage de l'acier. 317
2e — *France.* 324
3e — *Grande-Bretagne et Belgique.* 328
4e — *Prusse et Allemagne.* 331
5e — *Empire d'Autriche.* 334
6e — *Autres provenances.* 341

Digitized by Google

CHAPITRE III. — FABRICATION DE L'ACIER BESSEMER.

Pages.

1re SECTION. — *Généralités sur la fabrication*. — Historique. — De la nature des fontes employées. — Des appareils employés. — De la conduite de l'opération. — Moyens pour reconnaître le moment de la décarburation complète. 342

2e — *France* 357

3e — *Grande-Bretagne* 363

4e — *Suède et Russie*. 371

5e — *Autriche*. — Préliminaires. — Usine de Neuberg. — Usines de Heft, de Gratz, de Turrach, de Reschicza, de Wittkowitz, de Storé. 377

6e — *Allemagne, Belgique, Italie*. 390

7e — *Etats-Unis, Indes*. 394

CHAPITRE IV. — PROCÉDÉS DIVERS POUR LA FABRICATION DE L'ACIER.

1re SECTION. — *Essais divers*. — Procédés Chenot, Siemens, de Rostaing, Galy-Cazalat, Micolon. 395

2e — *Procédé Martin*. — Généralités historiques. — Description. — Aciéries système Martin. — Données économiques. 402

3e — *Procédé A. Bérard*. — Généralités. — Appareils et procédés. 409

4e — *Procédés divers d'amélioration de l'acier*. — Procédés Le Guen, Parry, Heaton. 414

QUATRIÈME PARTIE

FABRICATION DES MOULAGES.

INTRODUCTION. 417

CHAPITRE I. — FABRICATION DES FONTES MOULÉES ORDINAIRES.

1re SECTION. — *Généralités*. — De la deuxième fusion de la fonte. — Des sables et terres de moulage. 418

2e — *Fontes de mécanique et de construction*. — Procédés de moulage. — Fontes employées. — Fonderies diverses. 424

3e — *Fontes d'ornement*. — Procédés et matières. — France. — Autres pays 437

Digitized by Google

Pages.

4e SECTION. — *Sablerie et poterie de fonte.* — Procédés. — France. — Angleterre et Belgique. — Allemagne, Suède, Russie, etc. 432
5e — *Canons en fonte.* 438

CHAPITRE II. — FABRICATION DES FONTES ÉMAILLÉES, ÉTAMÉES, ETC.

1re SECTION. — *Généralités.* 441
2e — *Produits exposés* 443

CHAPITRE III. — FABRICATION DES FONTES TREMPÉES.

1re SECTION. — *Généralités et procédés* 445
2e — *Produits exposés.* — Cylindres de laminoirs. — Croisements de voies. — Roues. — Projectiles. . 449

CHAPITRE IV. — FABRICATION DE LA FONTE MALLÉABLE.

1re SECTION. — *Généralités et procédés.* 453
2e — *Produits exposés.* 456

CHAPITRE V. — FABRICATION DES ACIERS MOULÉS.

1re SECTION. — *Généralités et procédés* 458
2e — *Produits exposés.* 462

CINQUIÈME ET DERNIÈRE PARTIE

FABRICATION DES FERS ET ACIERS OUVRÉS.

INTRODUCTION. 465

CHAPITRE I. — DES APPAREILS DES USINES ACTUELLES.

1re SECTION. — *Laminoirs.* — Préliminaires. — Laminoirs pour plaques et feuilles planes. — Laminoirs pour barres. — Laminoirs pour anneaux et bandages. — Laminoirs pour roues. — Laminoirs pour tubes. — Commande des laminoirs. 465
2e — *Marteaux.* — Préliminaires. — Marteaux pilons pour cinglage ou serrage. — Marteaux pilons pour forgeage. — Marteaux à vapeur horizontaux. — Martinets à vapeur à action directe. — Martinets pilons divers. 484
3e — *Appareils divers* 497

Digitized by Google

CHAPITRE II. — FABRICATION DES FERS PROFILÉS ET DES RAILS.

Pages.

1re SECTION. — *Généralités sur la fabrication.* — Paquets et lingots. — Serrage et laminage 498
2e — *Produits exposés.* — France. — Grande-Bretagne. — Belgique. — Allemagne et Autriche. — Pays divers. 509

CHAPITRE III. — FABRICATION DES TOLES ET DES FERS BLANCS.

1re SECTION. — *Généralités sur la fabrication.* — Tôles diverses. — Fers blancs et produits analogues. 518
2e — *Produits exposés* 523

CHAPITRE IV. — FABRICATION DES PIÈCES DE FORGE ET BLINDAGES.

1re SECTION. — *Généralités sur les procédés* 530
2e — *Produits exposés*. 535

CHAPITRE V. — FABRICATION DU MATÉRIEL ROULANT DE CHEMINS DE FER.

1re SECTION. — *Essieux* 543
2e — *Ressorts* 545
3e — *Roues*. 546
4e — *Bandages.* — Bandages fabriqués avec des paquets droits, avec des trousses annulaires, avec des lingots d'acier fondu. 547

CHAPITRE VI. — FABRICATION DES FILS ET DES BANDES DE FER ET D'ACIER.

1re SECTION. — *Généralités sur les procédés*. 552
2e — *Produits exposés* 556

CHAPITRE VII. — FABRICATION DES TUBES ET FERS CREUX.

1re SECTION. — *Généralités* 563
2e — *Produits exposés*. 565

POSTFACE. 569

Digitized by Google

PLANCHES 1 à 31.

Planches	1 et 2.	Machines et appareils.	Construction de chaudières.
—	3.	—	Chaudières et fumivores à air.
—	4.	—	Fumivore Thierry fils.
—	5 à 9.	—	Chaudières inexplosibles.
—	10.	—	Détails divers.
—	11, 12, 13.	—	Chaudières verticales.
—	14.	—	Locomobile de MM. Deneffe.
—	15.	Sidérurgie.	Fours à gaz suédois et prussiens.
—	16.	—	Fours à gaz, système Lundin.
—	17.	—	Four à puddler au gaz, système Siemens.
—	18.	—	Appareil Lemut pour puddlage mécanique.
—	19.	—	Appareil Menelaus pour puddlage mécanique.
—	20.	—	Fours à gaz Martin et d'Allevard.
—	21.	—	Fabrication de l'acier Bessemer.
—	22.	—	Four Siemens pour fabrication d'acier avec les minerais.
—	23.	—	Marteaux suédois à soulèvement.
—	24.	—	Marteau pilon, système Detombay.
—	25.	—	Frappeur mécanique de M. Davies.
—	26 et 27.	—	Marteaux duplex, système Ramsbottom.
—	28 et 29.	—	Trains universels pour blindages et fers spéciaux.
—	30.	—	Train universel, système Wagner.
—	31.	—	Fabrication des tubes et bandages. — Soufflerie Roots.

Paris. — Typographie A. Hennuyer, rue du Boulevard, 7.

Digitized by Google

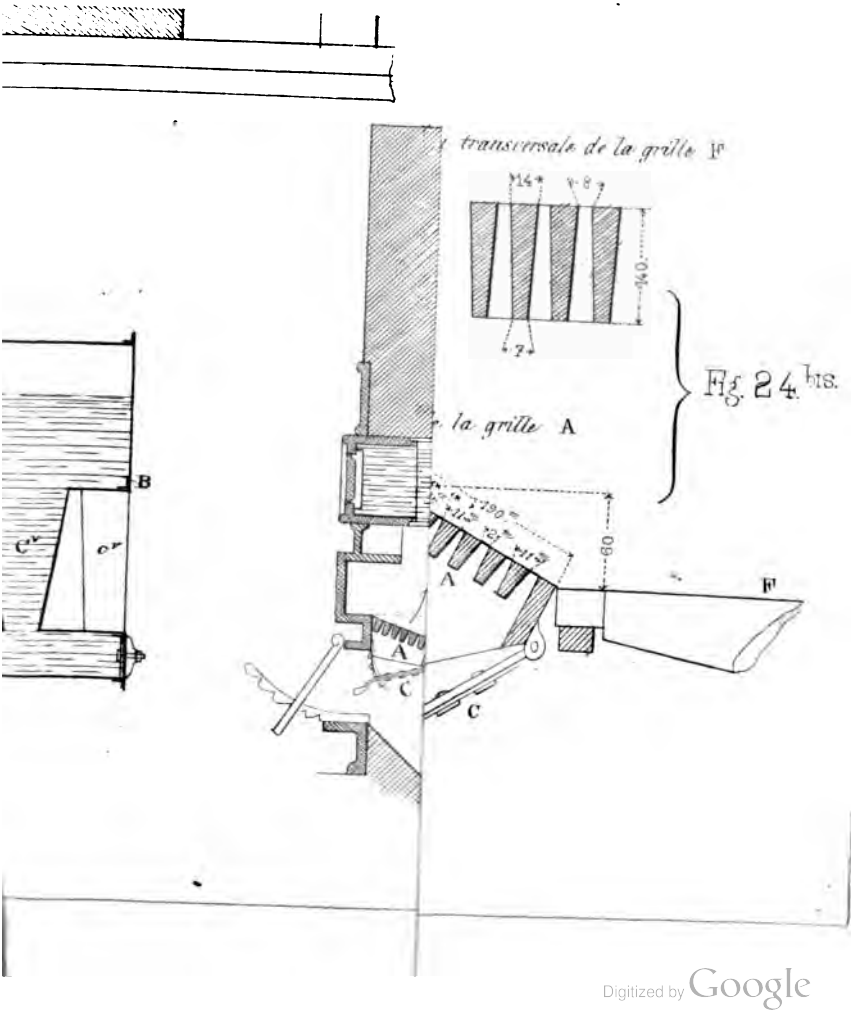
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

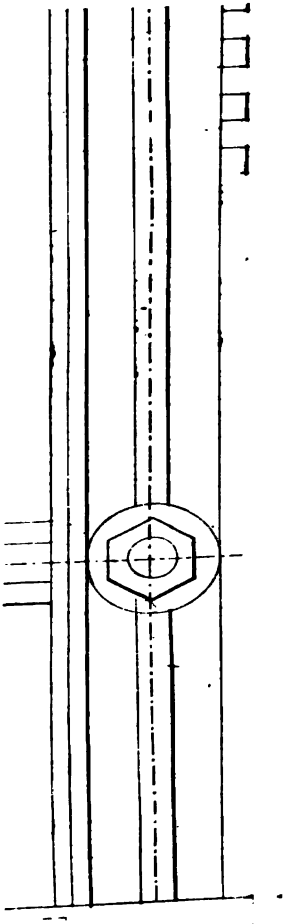
Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google



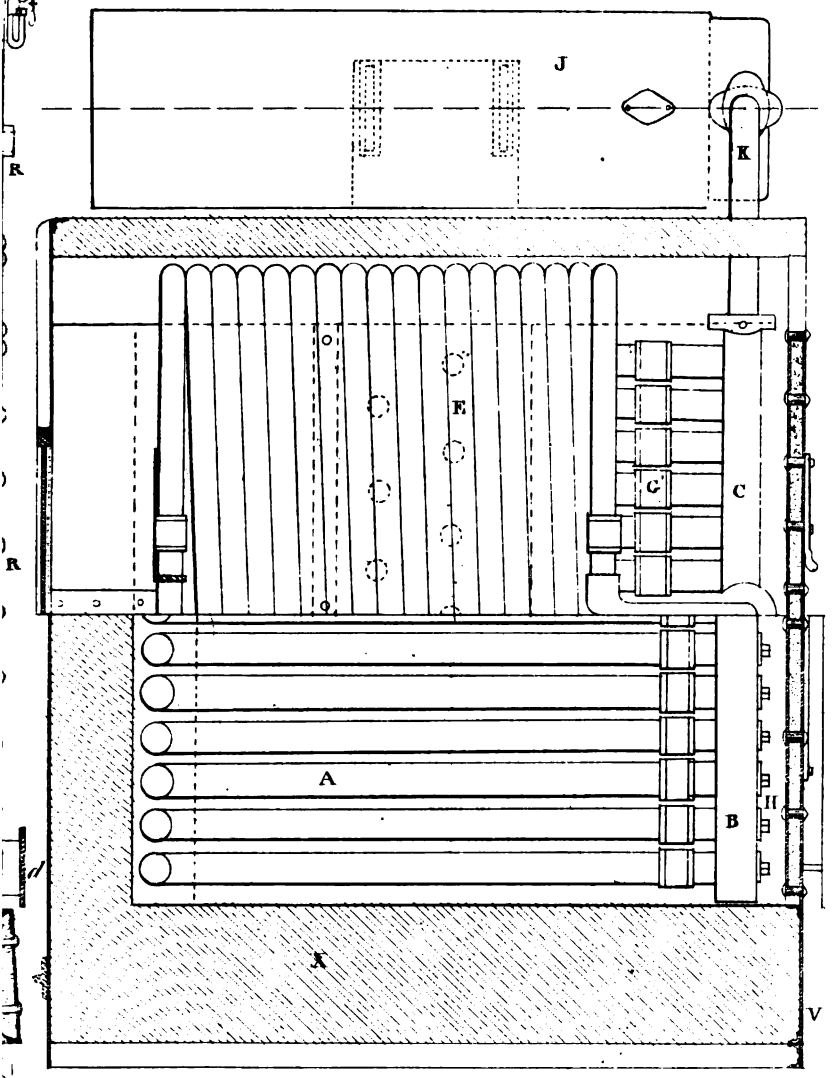
Digitized by Google

Digitized by Google

Générateur inexplosible. Système BELLEVILLE.

Type de machine fixe.

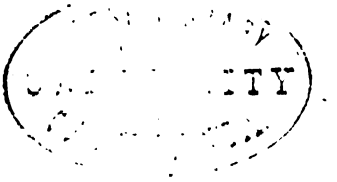
Fig. 31.

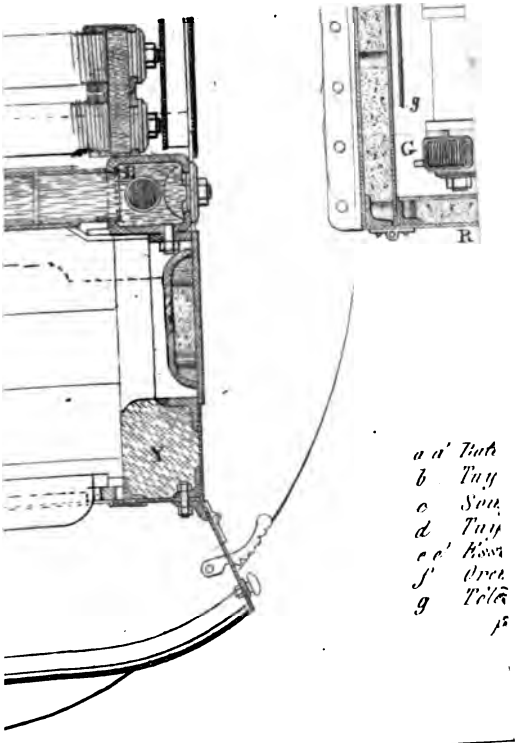


Digitized by Google

Digitized by Google

PLOSIBLE





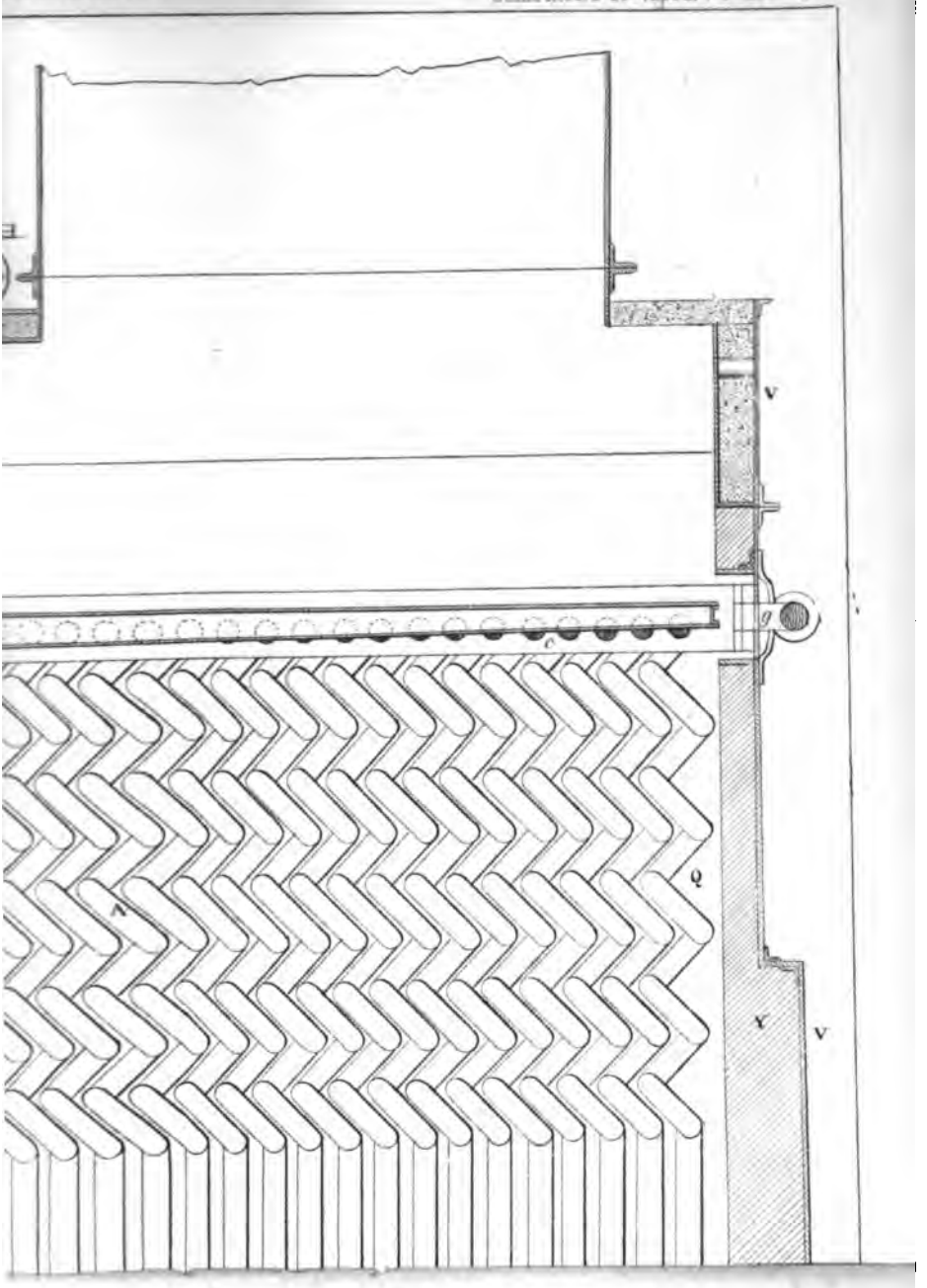
Digitized by Google

Digitized by Google

APLOSIBLE

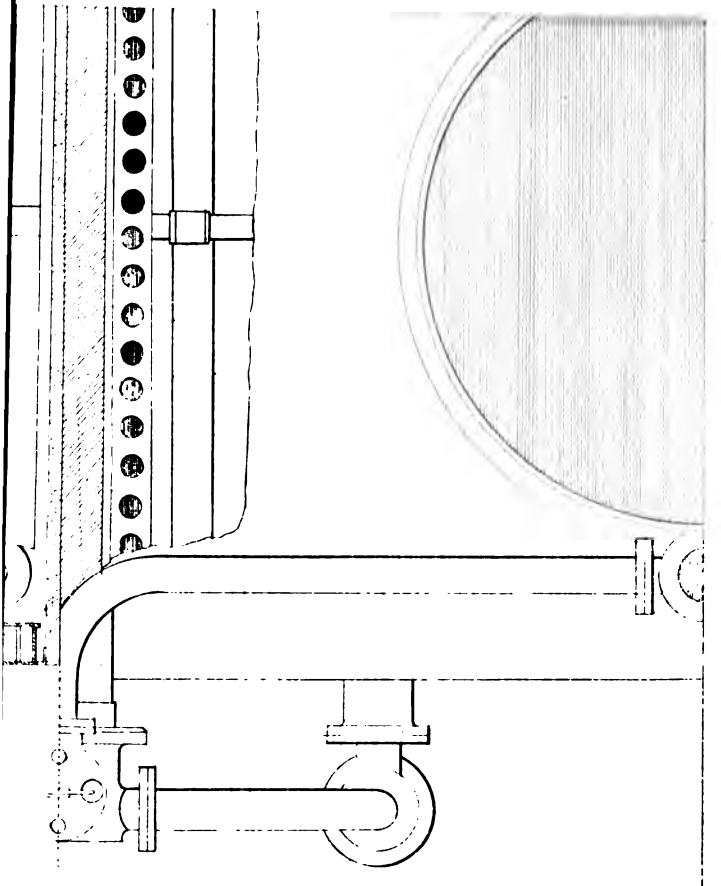
Digitized by Google

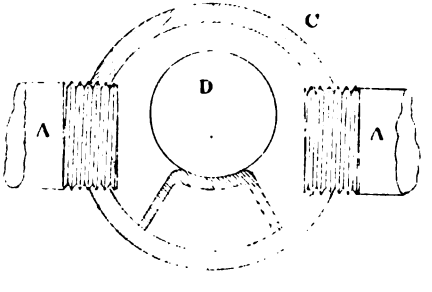
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google





Digitized by Google

Digitized by Google

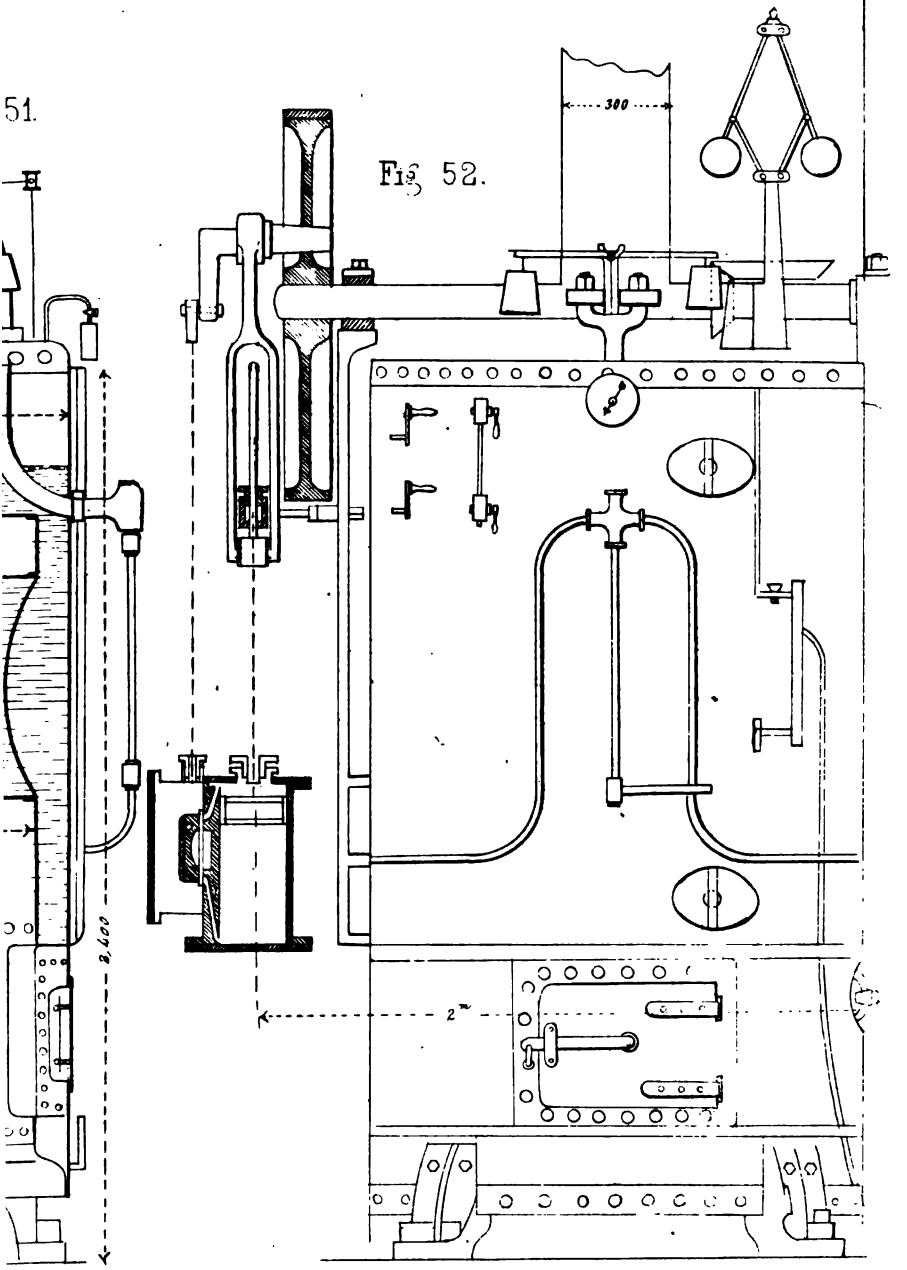
Digitized by Google

Digitized by Google

re fixe verticale avec moteur adhérent
par BRÉVAL.

51.

Fig 52.



Digitized by Google

Digitized by Google

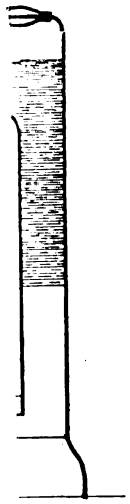
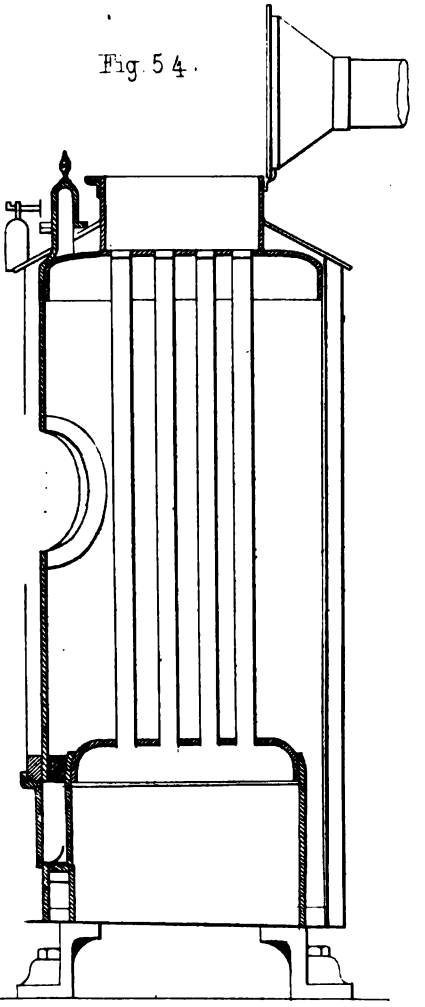
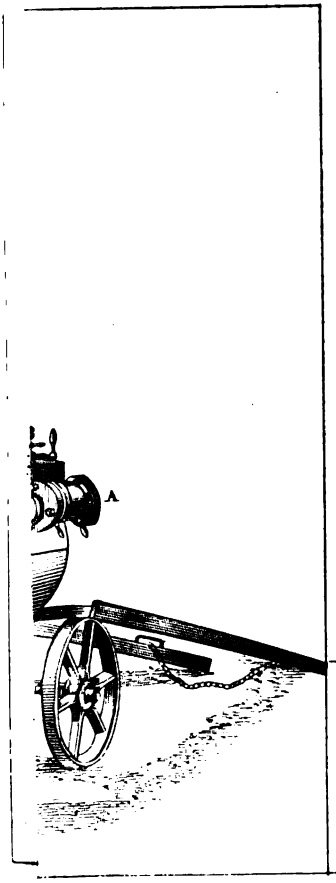


Fig. 54.

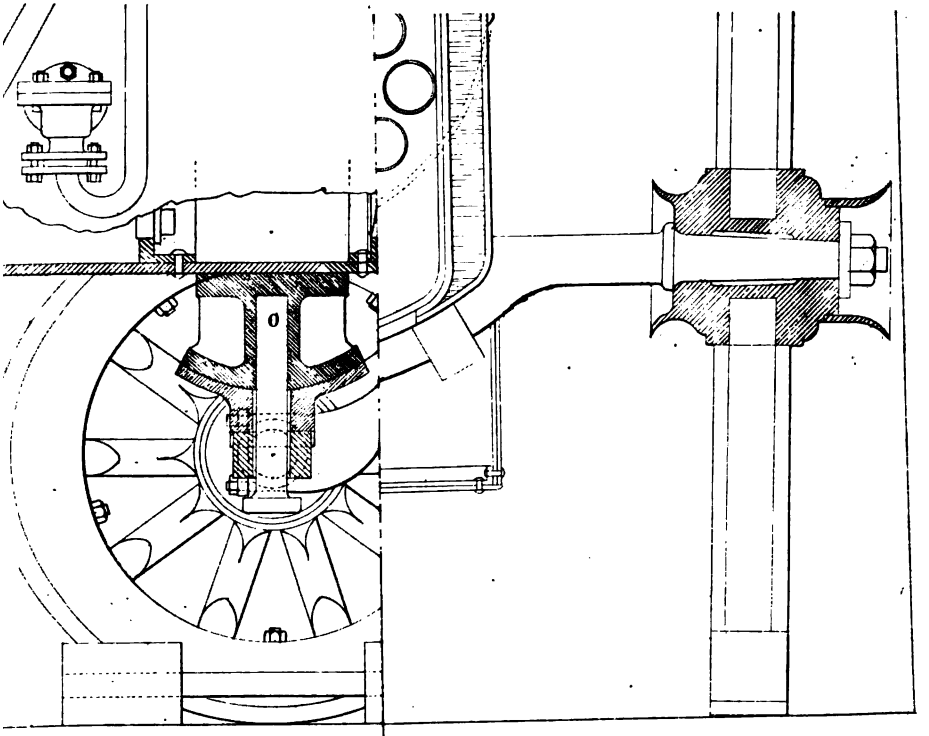




Digitized by Google

Digitized by Google

russie

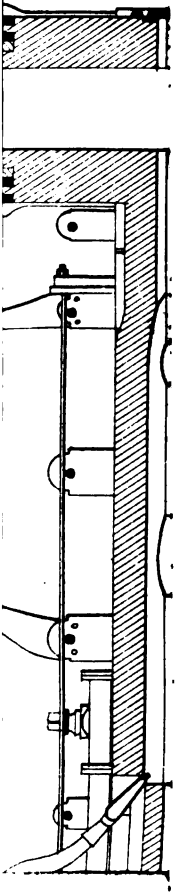


p.ie de G. Dumont.

Digitized by Google

Digitized by Google

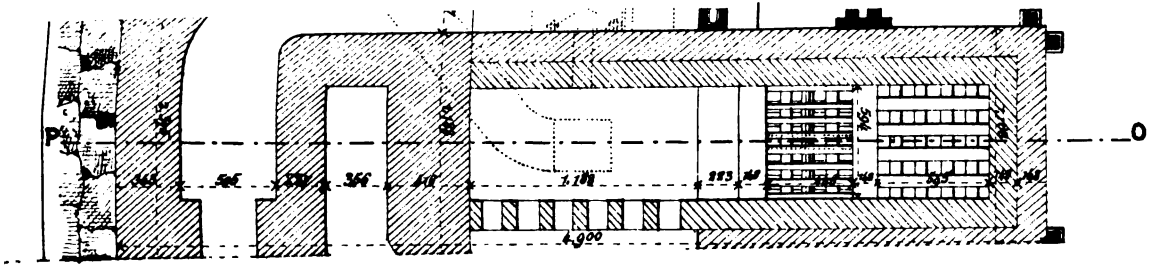
t Prussie



UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

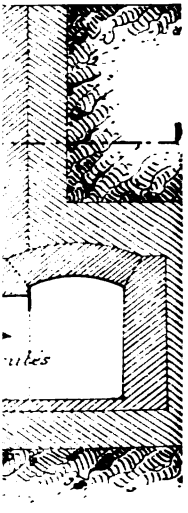


Digitized by Google

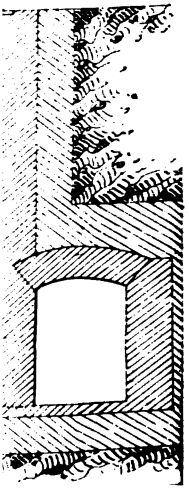
Digitized by Google

ke de M

chelle de $\frac{1}{50}$



t LM.

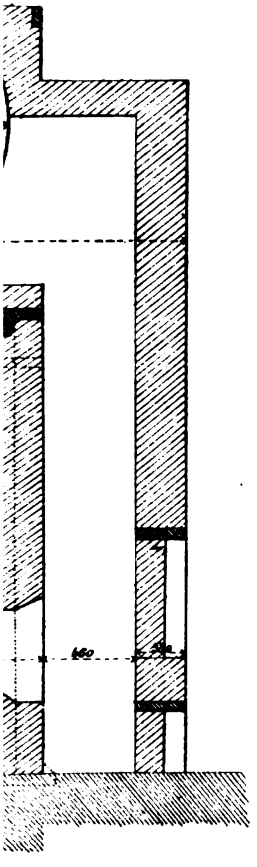


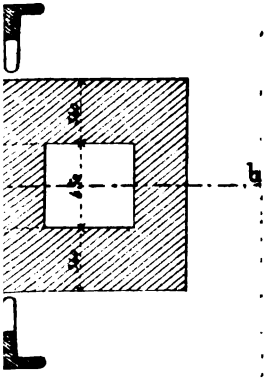
Digitized by Google

Digitized by Google

Système L

portes avec



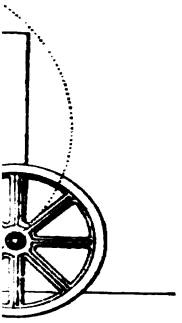


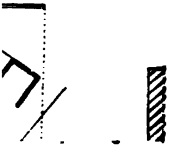
Digitized by Google

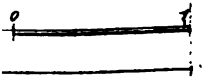
Digitized by Google

à Dowla

ffe suivant C.D







Digitized by Google

Digitized by Google

verticale

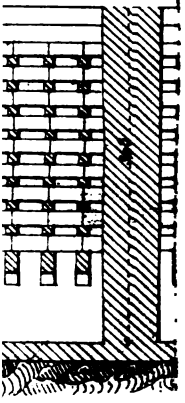
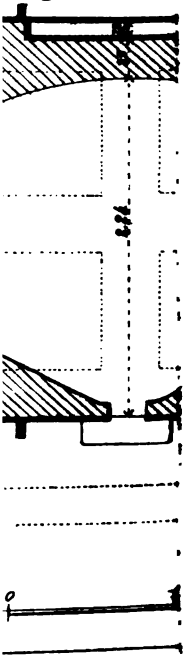


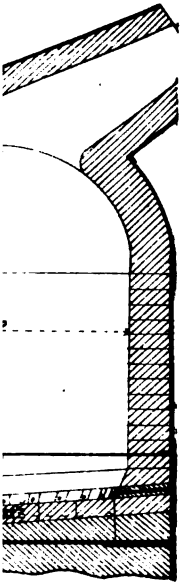
Fig.5 Plan.

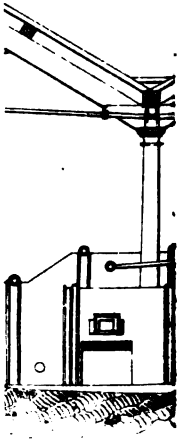


Digitized by Google

Digitized by Google

e verticale



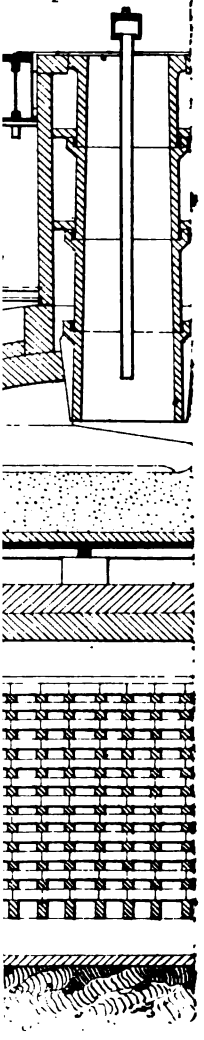


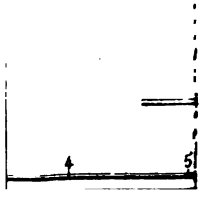
Digitized by Google

Digitized by Google

r fondu

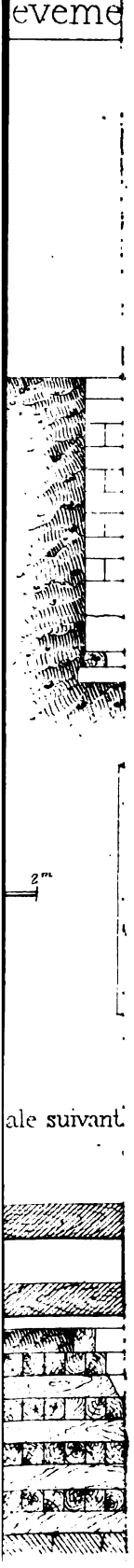
Coupe verticale





Digitized by Google

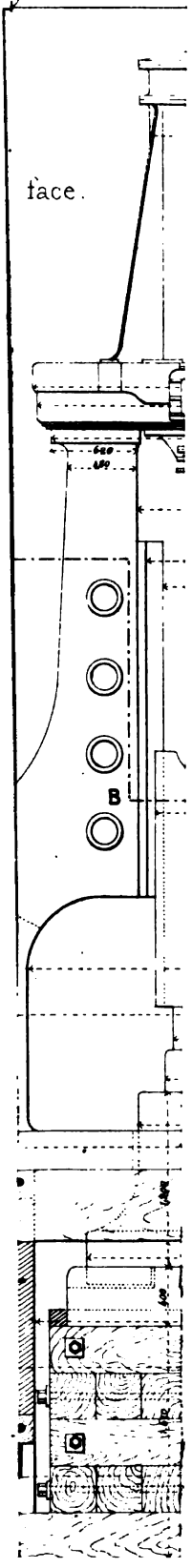
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

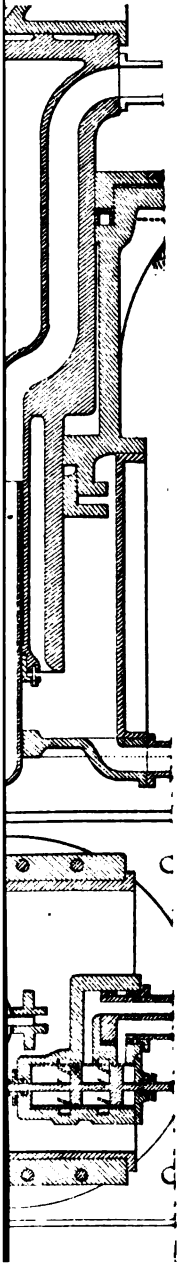
ystème De



Digitized by Google

Digitized by Google

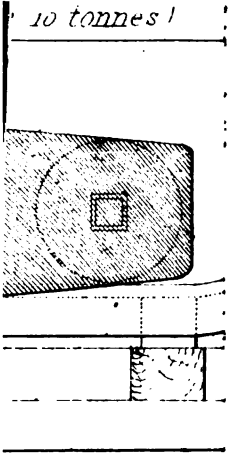
'onnes.)



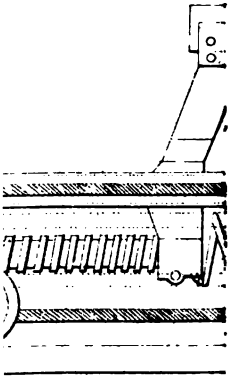
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

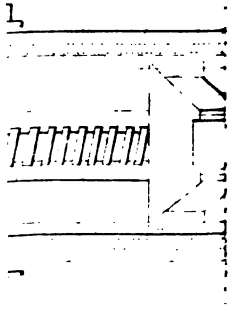
Digitized by Google

Digitized by Google



ıle du chariot et

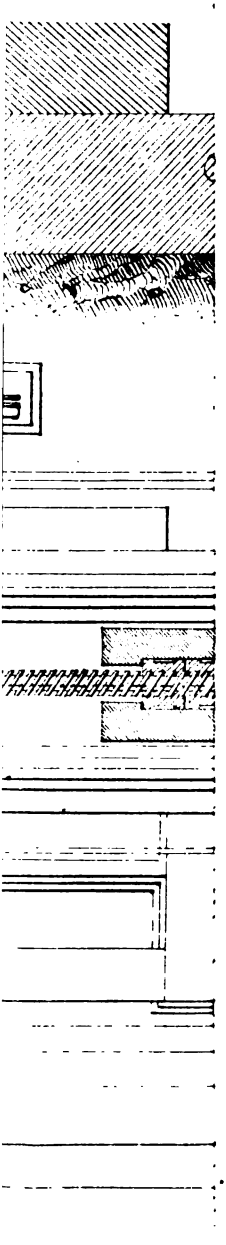




Digitized by Google

Digitized by Google

M.M. N



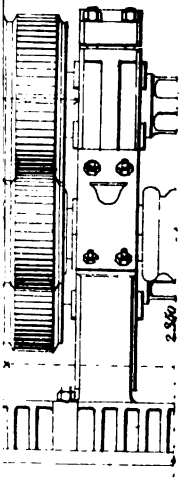
Digitized by Google

Digitized by Google

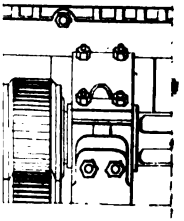
r M.M. M

n longitudina

lle de $\frac{1}{50}$

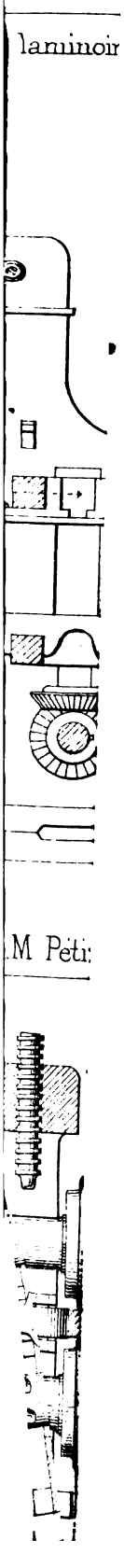


n plan.



Digitized by Google

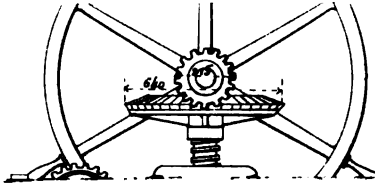
Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

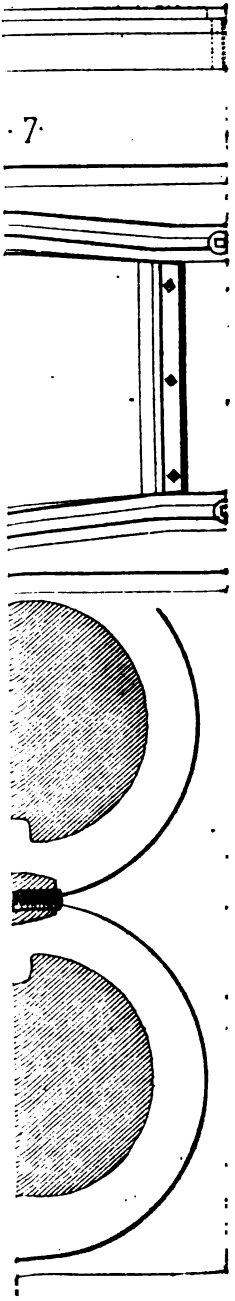
Fig 3. Coupe horizontale. suivant **C.D.**



A

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RETURN TO → CIRCULATION DEPARTMENT
202 Main Library

LOAN PERIOD 1 HOME USE	2	3
4	5	6

ALL BOOKS MAY BE RECALLED AFTER 7 DAYS
Renewals and Recharges may be made 4 days prior to the due date.
Books may be Renewed by calling 642-3405.

DUE AS STAMPED BELOW

MAY 20 1988
AUTO. DISC.
JUL 26 1989
CIRCULATION
DEC 06 1989
AUTO. DISC.
SEP 1 9 1989
CIRCULATION

FORM NO. DD6, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
BERKELEY, CA 94720

Digitized by Google

YC 6915

16171

TN2
R61
v.4

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

U.C. BERKELEY LIBRARIES

C005585440

Digitized by Google

Digitized by Google